UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Culegere de articole științifice

Conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională *INTEGRARE PRIN CERCETARE ŞI INOVARE,* dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare

6-7 noiembrie 2025

Științe exacte și ale naturii

https://doi.org/10.59295/spd2025e

Chișinău, 2025

CZU 5(082)=135.1=111=161.1
I-58

Culegere de articole științifice

Conferința științifică națională cu participare internațională

INTEGRARE PRIN CERCETARE ŞI INOVARE,

dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare

6-7 noiembrie 2025

Științe exacte și ale naturii

Responsabil de ediție:

Georgeta STEPANOV, doctor habilitat, profesor universitar,
Prorector pentru activitate științifică, Universitatea de Stat din Moldova

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII

"Integrare prin cercetare și inovare", conferință științifică națională (2025; Chișinău). Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare", dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare, 6-7 noiembrie 2025: Culegere de articole științifice / comitetul științific: Igor Șarov [et al.]. – Chișinău: [S. n.], 2025 (CEP USM) – . – ISBN 978-9975-62-687-3.

Cerințe de sistem: PDF Reader.

Științe exacte și ale naturii. – 2025. – 954 p.: fig., tab. – Antetit.: Universitatea de Stat din Moldova, HR Excellence in Research. – Texte : lb. rom., engl., rusă. – Rez.: lb. rom., engl. – Referințe bibliogr. la sfârșitul art. – ISBN 978-9975-62-989-8 (PDF).

5(082)=135.1=111=161.1
I-58

ISBN 978-9975-62-687-3

** Responsabilitatea asupra conținutului articolelor revine în exclusivitate autorilor.*

© Universitatea de Stat din Moldova, 2025

Comitetul științific:

Igor ȘAROV, *dr., prof. univ*.	Universitatea de Stat din Moldova, Rector
Georgeta STEPANOV, *dr. hab., prof. univ*.	Universitatea de Stat din Moldova, Prorector pentru activitate științifică, Președinte al Consiliului Științific
Veronica PRISĂCARU, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Șef al Departamentului Cercetare și Inovare
Carolina ȚURCANU, *dr., conf. cerc.*	Universitatea de Stat din Moldova, Șef al Secției Promovare și Protecția Rezultatelor Științifice
Viorel DORGAN, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Educație Fizică și Sport
Sergiu BĂIEȘU, *dr., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Drept
Igor BERCU, *dr., lect. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Istorie şi Filozofie
Victoria BULICANU, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Jurnalism şi Ştiinţe ale Comunicării
Liliana DMITROGLO, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Fizică şi Inginerie
Viorica GLADCHI*, dr., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultății de Chimie și Tehnologie Chimică
Maria HĂMURARU, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Ştiinţe Economice
Angela NICULIȚĂ, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultății de Matematică și Informatică
Vitalie SOCHIRCĂ*, dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultății de Biologie și Geoștiințe
Alexandru SOLCAN, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultății de Relații Internaționale, Științe Politice și Administrative
Maia ȘEVCIUC, *dr., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Psihologie, Ştiinţe ale Educaţiei, Sociologie şi Asistenţă Socială
Ludmila USATÂI, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Decan al Facultăţii de Litere
Mariana GÎDEI, *dr., lect. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Educație Fizică și Sport, Decan al Facultății Educație Fizică și Sport
Andrei NASTAS, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Educație Fizică și Sport, Decan al Facultății Științe ale Securității
Serghei RACU, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Educație Fizică și Sport, Decan al Facultății Kinetoteratie
Larisa ANDRONIC, *dr. hab., conf. cerc.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor
Aculina ARÎCU, *dr. hab., conf. cerc., Membru corespondent al AȘM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Chimie
Oleg BUJOR, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Bibliotecii Ştiinţifice (Institut) „Andrei Lupan”
Petru BUNDUC, *dr.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Ecologie și Geografie
Gheorghe COJOCARU, *dr. hab., conf. univ., Membru corespondent al AȘM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Istorie
Nina CORCINSCHI, *dr. hab., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Filologie Română „Bogdan Petriceicu-Hașdeu”
Victor JUC, *dr. hab., prof. univ., Membru corespondent al AȘM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Cercetări Juridice, Politice și Sociologice
Ion MEREUȚĂ, *dr. hab., prof. univ., Membru corespondent al AȘM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie,
Igor NICOARA, *dr., conf. cerc.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului Geologie și Seismologie
Ion ROȘCA, *dr., conf. cerc.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Grădinei Botanice (Institut) „Alexandru Ciubotaru”
Olga SHIKIMAKA, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Fizică Aplicată
Leonid CULIUC, *dr. hab., prof. univ., Academician al AȘM*	Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Fizică Aplicată
Inga ȚIȚCHIEV, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Matematică și Informatică „Vladimir Andrunachievici”

Laurenţia UNGUREANU, *dr. hab., prof. cerc., Membru corespondent al AŞM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Institutului de Zoologie
Liliana BUDEVICI-PUIU, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Educație Fizică și Sport, Șef centru
Vladimir GUȚU, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Șef al Centrului de Cercetări Științifice ”Politici educaționale și sociale”
Aurel ZANOCI, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Șef al Centrului de Arheologie „Ion Niculiță”
Zinaida BOLEA, *dr. hab., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Școlii Doctorale ”Științe Sociale”
Maria DUCA, *dr. hab., prof. univ., Academician al AŞM*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Școlii Doctorale ”Științe ale Naturii”
Aliona GRATI, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Școlii Doctorale ”Științe Umaniste și ale Educației”
Svetlana SLUSARENCO, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Școlii Doctorale ”Științe Juridice și Economice”
Beatrice-Aurelia ABALAȘEI, *dr.hab., prof. univ.*	Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România
Sanda Maria ARDELEANU, *dr., prof. univ.*	Universitatea “Ștefan cel Mare”, Suceava, România Doctor Honoris Causa USM
Flavius-Antoniu BAIEAS, *dr., prof. univ.*	Universitatea din București, România, Doctor Honoris Causa al Universității de Stat din Moldova
Yaroslav BIHUN, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea Națională „Iurii Fedikovici” din Cernăuți, Ucraina
Mircea BRIE, *dr., prof. univ.*	Universitatea din Oradea, România
Igor CREȚESCU, *dr., prof. univ.*	Universitatea Tehnică ”Gheorghe Asachi” din Iași, România
Corneliu IAȚU, *dr., prof. univ.*	Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România
Maria MENSHIKOVA, *dr., conf. univ.*	Universitatea Mercatorum, Roma, Italia
Gina NECULA, *dr., conf. univ.*	Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați, România
Bogdan OPREA, *dr., lect. univ.*	Universitatea din București, România
Sorin SIPOȘ, *dr. hab., prof. univ.*	Universitatea din Oradea, România, Prorector pentru Relații Internaționale
Maria Cristina STOICA, *dr., prof. univ.*	Universitatea Petre Andrei din Iași, România
Marius ȘTEF, *dr., conf. univ.*	Universitatea de Vest din Timișoara, România
Constantin TICU, *dr., prof. univ.*	Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România
Marta Iuliana VICOL, *dr.*	Universitatea Petre Andrei din Iași, România

Comitetul organizatoric cu atribuții de coordonare generală a evenimentului științific:

Marianna SAVVA, *dr*.	Universitatea de Stat din Moldova, Specialist principal, Secția Promovare și Protecția Rezultatelor Științifice
Ana-Laura PAȘNIC	Universitatea de Stat din Moldova, Specialist principal, Secția Promovare și Protecția Rezultatelor Științifice
Violeta MACOVEI	Universitatea de Stat din Moldova, Specialist principal, Secția Promovare și Protecția Rezultatelor Științifice
Ana TATARU	Universitatea de Stat din Moldova, Redactor principal, Secția Promovare și Protecția Rezultatelor Științifice
Ecaterina DELEU, *dr*.	Universitatea de Stat din Moldova, Redactor principal, Oficiul de Asigurare a Calității în Cercetare
Lilia DOGOTER	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Bibliotecii Centrale
Alexandra COJUHARI	Universitatea de Stat din Moldova, Biblioteca Centrală
Ghenadie SÎRBU, *dr*.	Universitatea de Stat din Moldova, Director al Editurii
Anna CÎȘLARI	Universitatea de Stat din Moldova, Editura
Dragoș UNGUREANU	Universitatea de Stat din Moldova, Șef al Departamentului Sisteme Informaționale

Comitetele organizatorice ale atelierelor:

Biologie şi Ecologie	*Biologie vegetală*	Renata CIOBANU, *dr., lect. univ.* Steliana CLAPCO, *dr., lect. univ.*
	Biologie umană și animală	Aurelia CRIVOI, *dr. hab., prof. univ.* Valentina CIOCHINĂ, *dr., conf. univ.*
	Ecologie	Tatiana DUDNICENCO, *dr., conf. univ.*
Geoştiinţe şi Silvicultură		Ilie BOIAN, *dr., conf. univ.*
Chimie şi Tehnologie Chimică		Larisa MOCANU, *dr., cerc. șt.*
Matematică şi Informatică		Ludmila NOVAC, *dr., conf. univ.*
Fizică şi Inginerie		Natalia NEDEOGLO, *dr., conf. univ.*

AROMATIC SPECIES WITH MELLIFEROUS POTENTIAL OF THE LAMIACEAE L. FAMILY STUDIED IN THE BOTANICAL GARDEN

SPECII AROMATICE CU POTENȚIAL MELIFER DIN FAMILIA LAMIACEAE L. STUDIATE ÎN GRĂDINA BOTANICĂ

CZU: 633.82:638.138(478-25) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.01**

Alina BOGDAN
ORCID: 0000-0002-2069-0454
E-mail: alinkabog90@gmail.com
,,Alexandru Ciubotaru" National Botanical Garden (Institute),
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Maricica COLȚUN
ORCID: 0000-0001-8470-3616
E-mail: maricicacoltun@gmail.com
,,Alexandru Ciubotaru" National Botanical Garden (Institute),
Moldova State University,Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Lucrarea de față prezintă un studiu privind identificarea speciilor de plante aromatice cu potențial melifer semnificativ, desfășurat în cadrul Laboratorului de Resurse Vegetale. Fondul genetic al plantelor utile include o gamă largă de specii care oferă albinelor polen și nectar pe toată durata sezonului de vegetație. Prin urmare, mobilizarea și dezvoltarea unui sector dedicat plantelor aromatice cu potențial melifer reprezintă un obiectiv-cheie de cercetare, urmărit prin introducerea atât a speciilor autohtone, cât și alogene. Pe parcursul a trei ani, au fost identificate aproximativ 50 de specii promițătoare, clasificate în 15 genuri, valoroase atât pentru conținutul lor în uleiuri esențiale, cât și pentru potențialul melifer ridicat. Aceste specii parcurg complet ciclul de vegetație și se caracterizează printr-o perioadă de înflorire prelungită și o capacitate mare de producere a polenului. Identificarea de noi specii de plante aromatice cu potențial melifer este deosebit de importantă pentru extinderea gamei de culturi aromatice și pentru asigurarea unei baze melifere constante și durabile.*

Cuvinte-cheie: *conservare, plante melifere, mobilizare, plante aromatice, utilizare.*

INTRODUCTION

Biological diversity significantly influences both the quantity and quality of the melliferous base. The conservation of biodiversity is essential for maintaining a rich

and stable supply of nectar and pollen sources, thereby supporting the sustainable use of these natural resources. This aspect supports beekeeping – a traditional occupation that offers both ecological and socio-economic benefits [1].

Bees play a vital role in plant pollination and contribute substantially to the beekeeping industry. A key requirement for the successful and profitable management of bee colonies for the production of bee products (such as honey, pollen, wax, etc.) is a thorough understanding of melliferous plants, including their geographical distribution, flowering periods, and nectar and pollen value [2].

Many plant species bloom according to distinct seasonal patterns, which can be synchronized with the life cycles of specific pollinators [3]. Flowers react differently to certain pollinators, coexisting with them by providing diverse flowering periods, colors, and aromas, thus enhancing their reproductive success. Depending on the characteristics of the flower, the number of visits made by pollinators may be higher or lower [4].

In the study of melliferous resources, in addition to nectar and pollen productivity, one of the most critical aspects is understanding the flowering periods of plants. Systematic phenological observations enable the development of a phenological calendar, which can be used to forecast flowering times and help establish a continuous nectar flow, often referred to as a "honey conveyor." To ensure such a continuous supply, it is advisable to include nectar and pollen producing plants that exhibit the following traits: high honey productivity, a perennial growth cycle, an extended and stable flowering period, vigorous growth, consistent nectar secretion throughout the day, and floral structures that are easily accessible to pollinators [5].

The spontaneous flora of the Republic of Moldova includes several species of aromatic plants with significant melliferous potential, known for their high honey productivity, which can enhance and diversify the honey base in specific regions of the country [6]. At the "Alexandru Ciubotaru" National Botanical Garden (Institute), within the experimental sector of the Plant Resources Laboratory, in the aromatic plant collection, approximately 50 aromatic-melliferous species have been identified and cultivated. These species, considered among the most valuable and promising for cultivation in Moldova, belong to 15 genera, including *Agastache* Gronov., *Hyssopus* L., *Lavandula* L., *Nepeta* L., *Salvia* L., *Thymus* L., *Mentha* L., and *Satureja* L.

MATERIALS AND METHODS

As subjects for the current research served the aromatic species with melliferous potential from the Collection of Aromatic Plants of the Chisinau Botanical Garden. The research carried out covers the period 2022-2024, during which the creation of the group of aromatic-meliferous plants was initiated. The experiments were carried out on the territory of the Collection of Aromatic Plants, Plant Resources Laboratory.

Over the years, various aromatic-melliferous species have been identified and studied, with particular attention given to their ontogenetic growth and development under local climatic conditions. During the growing season, systematic phenological observations were made on the perennial development cycle, determination of flowering periods, and the number of visits made by pollinators depending on environmental factors. [7]. The essential oil content was determined by the hydrodistillation method [8].

RESULTS AND DISCUSSION

In the Botanical Garden, over the years, a number of aromatic species obtained from seeds through the international seed exchange program - *Delectus seminum* - have been introduced and researched. The diversity of species in the collection demonstrates a high potential for honey production, necessary for the organization of an efficient melliferous base. The aromatic plant collection in the NBGI counts over 170 species from 67 genera and 14 families. Respectively, within the collection, aromatic species were highlighted, which also represent significant sources of melliferous plants, which are characterized by long flowering period and produce high amounts of pollen and nectar content, and can be used in obtaining beekeeping products. This group is represented by the genera: *Agastache* Gronov, *Hyssopus* L, *Lavandula* L, *Nepeta* L, *Salvia* L, *Thymus* L, *Clinopodium* L, *Mentha* L, *Satureja*, etc. The study in question refers to some genera of the Lamiaceae family present in the collection, of major importance in the field of beekeeping.

The genus *Agastache* Gronov, of the Lamiaceae family, comprises 22 species, native to North America, most of which are aromatic and melliferous plants. In the collection of aromatic plants of the Botanical Garden, 4 species have been introduced and researched: A. nepetoides (L.) Kuntze, *A. urticifolia* (Benth.) Kuntze, *A. foeniculum* (Pursh) Kuntze, *A. rugosa* (Fisch. & C.A. Mey.) Kuntze. Herbaceous, perennial plants with strongly developed fibrous roots. These are herbaceous, perennial plants characterized by well-developed fibrous root systems and erect, quadrangular, reddish-brown stems. The leaves are lanceolate with sharp tips and evenly toothed margins, those located at the base are elongated and those found near the top – heart-shaped. Flowering occurs over an extended period from June to October. The small, tubular flowers are arranged in spikes measuring 4-8 cm and come in shades of blue, purple, pink, or white. They emit a strong fragrance reminiscent of mint, anise, and lavender. These plants are considered highly valuable for pollinators and are frequently visited by wild bees, honeybees, butterflies, bumblebees and other pollinating insects (Fig. 1).



Figure 1. Species of the genus *Agastache* Gronov :
1. A. nepetoides (L.) Kuntze 2. *A. urticifolia* (Benth.) Kuntze 3. *A. foeniculum* (Pursh) Kuntze
2. 4. *A. rugosa* Kuntze

Another genus is *Salvia* L., which includes over 900 species. The species *Salvia sclarea L.*, *Salvia cleistogama* Bary & Paul, *Salvia deserta* Schangin, *Salvia dolomitica* Codd, *Salvia grandiflora* Ettling., *Salvia officinalis* L., *Salvia officinalis* 'Tricolor' L., *Salvia nemorosa* L., *Salvia tesquicola* Klok & Pobed, *Salvia verbenaca* L., *Salvia fruticosa* L., introduced from the spontaneous flora and other geographical regions, are researched in the collection of aromatic plants of NBGI. The essential oil extracted from sage species is highly valued and widely used in phytotherapy, aromatherapy, cosmetics and gastronomy. In recent years, sage has also been recognized for its considerable honey-producing potential. The leaves are typically oval or lanceolate, with a slightly downy texture and a silvery-green hue. The entire plant emits a distinct, mildly peppery and balsamic fragrance, attributed to the diverse chemical composition of its essential oil. Phenological observations indicate that sage species generally have a flowering period of 30-35 days, often with the potential for repeat blooming. The plants produce large, colorful flowers ranging in shades of blue, purple, pink, or white, arranged in spikes or racemes. These flowers are highly attractive to bees and other pollinators (Fig. 2).



Figure 2. Some species of the genus *Salvia* L.
1. S. fruticosa L 2. *S. grandiflora* Ettling 3. *S.officinalis* L. 4. *S. sclarea* L.

Another genus with melliferous potential present in the collection is *Thymus* L., which includes several aromatic species studied in the laboratory. The aromatic plant collection comprises seven species: *Thymus comosus* Boiss, *Thymus longicaulis* C. Presl, *Thymus praecox* Opiz, *Thymus vulgaris* L., *Thymus vulgaris* var. citriodorum, *Thymus zigioides* Griseb. These are perennial, herbaceous plants with erect to ascending stems that terminate in flowering or sterile branches. The leaves vary in shape –linear, lanceolate, or ovate – and may be glabrous or pubescent. The flowers are compact and pink-violet, arranged in axillary whorls. These species are characterized by prolific flowering, which begins in mid-May and extends through July. This extended and intense flowering period attracts a wide variety of pollinators, particularly bees and butterflies, which collect the abundant nectar and pollen (Fig. 3).



Figure 3. Species of the genus *Thymus* L.
1.T. vulgaris L. 2. *T. comosus* Boiss 3. *T. longicaulis* C. Presl 4. *T. praecox* Opiz

The genus *Lavanda* L. includes perennial plants that grow in the form of bushes. They thrive in sunny areas with southern or western exposure. Their height typically ranges between 50 and 120 cm. The stems are thin, grouped in bushes, the leaves are gray-green, and the flowers are lilac-reddish. They are drought-resistant plants. Within the collection, the genus is represented by several species of lavender: *Lavandula angustifolia* Mill. cv. 'Lavinie de grădină' – cultivar approved in the NBGI, *Lavandula dentata* L., *Lavandula angustifolia* Mill. cultivar (K-90), *Lavandula angustifolia* Mill. subsp. Pyrenoica, *Lavandula x hybrida* , *Lavandula pinnata* Lundmark (Fig. 4).

As an aromatic and melliferous plant, lavender is valued for its extended flowering period, which begins in early June and continues through the late September. The flowers are rich in nectar and are visited by bees throughout the day. Therefore lavender is cultivated as a high-potential species for both aromatic and beekeeping purposes.



Figure 4. Species of the genus *Lavandula* L.
1. *L. angustifolia* Mill. subsp. Pyrenoica 2. *L. dentata* L 3. *L. pinnata* Lundmark
4. *L. angustifolia* Mill. cultivar 'Lavinie de grădină'

The genus *Nepeta* L. comprises approximately 200 aromatic, culinary, ornamental, and melliferous species, predominantly found in northern and western Europe, including Ireland and southern Norway. The plants are characterized by high ecological plasticity. They are of considerable interest as melliferous species, and are also a source of essential oil used in various fields. The collection of aromatic plants includes 4 species from the local spontaneous flora and from other geographical areas, including: *Nepeta transcaucasica* Grossch, *Nepeta grandiflora* Bieb., *Nepeta cataria* L., *Nepeta melissifolia* L. The species are characterized by fibrous roots, which start from a woody, branched rhizome. The stem is erect, branched, reaching 40-100 cm in height. The leaves are ovate, with a cordate base. Under the environmental conditions of the Republic of Moldova, these species flower from May through late summer. The duration of the flowering phase for each species lasts on average 40-45 days. Notably, the species *N. transcaucasica* Grossch can bloom twice under the local conditions. The flowers vary in color depending on the species, with shades ranging from pink and purple to white, and are arranged in dense whorls. Throughout the flowering period, the plants are intensely visited by pollinating insects (Fig. 5).



Figure 5. Species of the genus *Nepeta* L .
1. N. cataria L . 2. *N. transcaucasica* Grossch 3. *N. grandiflora* Bieb

CONCLUSIONS

In conclusion, the diversity of aromatic plants provides a valuable and supportive habitat for pollinating insects. The identification and promotion of species with high-quality essential oil content, ornamental value, and melliferous potential represent key priorities for the beekeeping sector. Thus, within the aromatic plant collection of NBGI, over the last three years, a group of aromatic plants with honey-producing potential was initiated and created. This group brings together about 50 species with a diverse systematic classification, including both native and non-native species, as well as plants acquired through collaboration with national and international research institutions. Daily monitoring and phenological observations of these melliferous species enabled the determination of the duration of the flowering phase, the identification of the diversity of pollinating insects and the assessment of visit frequency for each species.

The results of this research show that the plants of the Lamiaceae family – the genera *Agastache* Gronov, *Lavandula* L, *Nepeta* L, *Salvia* L, *Thymus* L and the included species – constitute important sources of essential oil and a stable honey base, therefore, they can be successfully recommended for cultivation on industrial areas as high-value melliferous crops.

The comprehensive study and the recognition of these high-value melliferous plants contribute meaningfully to diversifying the range of aromatic plants and play an important role in enhancing national beekeeping productivity.

REFERENCES:

1. MODVALĂ, S. Potențialul biologic și rezerva de miere a bazei melifere din Republica Moldova. Simpozionul "Zootehnie şi biotehnologii", Chișinău, Moldova, 25 septembrie 2015, pag. 258-263, https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/74710
2. IORDACHE, P., ROȘCA, I., CISMARU, M. Plante melifere de foarte mare și mare pondere economico -apicolă, București, Editura Lumea Apicolă, 2007, p. 212
3. Disponibil :https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2020/12/BSB136_ITM-BEE-BSB_Guide-to-apicultural-potential-climate-conditions-air-and-soil-quality-in-the-Black-Sea-Basin_RO.pdf
4. PÂRVU, C. Universul Plantelor. Editura ASAB, București, 2006, 1038 p. ISBN 973-7725-10-7 https://carturesti.ro/info/universul-plantelor-73800-?p=16&lang=en-US
5. ПАШКЕВИЧ, П. и др. Цветочно-нектарный конвейер для эффективности пчеловодства. В: Наука и инновации. 2022. №. 9, с. 23-27. ISSN 1818-9857, https://innosfera.belnauka.by/jour/article/view/119

6. БОДРУГ, М. В. Дикорастущие эфирномасличные растения Молдавии. Кишинев, Штиинца, 1981, 140 с.
7. БЕЙДЕМАН, И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Методические указания, Н., Изд-во «Наука», 1974.
8. Gosudarstevennaia farmacopeia CCCP. Москва, 1968. 993 с.

N.B. *The research was carried out with the support of the Research Subprogram no. 010101 ,,Ex situ and in situ research and conservation of plant diversity in the Republic of Moldova".*

SPECII MEDICINALE NOI INTRODUSE ÎN GRĂDINA BOTANICĂ NAȚIONALĂ

NEW MEDICINAL SPECIES INTRODUCED IN THE NATIONAL BOTANICAL GARDEN

CZU: 633.88(478-25) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.02**

Nina CIOCÂRLAN
ORCID: 0000-0002-9477-5848
E-mail: nina.g.ciocarlan@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This paper presents the preliminary results of the introduction of four therapeutically important plants (Asclepias curassavica, Alcea ficifolia, Chamaemelum nobile, Leonotis nepetifolia) in the National Botanical Garden (Institute) of MSU. The studied taxa were obtained from seeds received by international exchange (Index Seminum). The study was preceded by an extensive literature survey of studied plants according to their therapeutic importance and utilization in popular and modern medicine. The seasonal rhythm of development of the plants was studied. The introduced taxa showed excellent initial acclimatization in the National Botanical Garden and may be assessed as species with good adaptation and positive response to our soil and climatic conditions.*

Keywords*: ex situ conservation, mobilization, medicinal plants.*

INTRODUCERE

Plantele medicinale joacă un rol vital în menținerea sănătății umane în întreaga lume. În ultimele două decenii, a existat o tendință puternică de revenire la terapia cu plante. În prezent, un număr imens de medicamente, sute de suplimente pe bază de plante și o mare diversitate de produse cosmetice au în compoziția lor numeroase ingrediente extrase din plante. Acestea sunt considerate a fi mai puțin toxice și lipsite de efecte secundare decât cele sintetice. Utilizarea plantelor medicinale pentru obținerea de produse alimentare, farmaceutice și cosmetice este un subiect de interes și o perspectivă pentru dezvoltarea industriilor importante. Una dintre preocupările majore ale acestor industrii relevante este explorarea de noi surse de materii prime vegetale pentru producerea de medicamente pe bază de plante, produse cosmetice și alimentare. În această perspectivă, identificarea de noi plante medicinale cu un potențial mare în aplicații terapeutice și investigarea lor pentru izolarea de noi substanțe biologic active este un aspect important și actual.

Prezenta lucrare oferă informații despre patru specii medicinale noi (*Asclepias*

curassavica, Leonotis nepetifolia, Alcea ficifolia, Chamaemelum nobile) introduse în ultimii ani și menținute în Colecția de Plante Medicinale din Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru" (GBNI). Aceste specii promițătoare sunt mai puțin cunoscute la noi, dar utilizate pe larg în compoziția preparatelor farmaceutice moderne. Introducerea și cercetarea acestor specii în condițiile pedoclimatice locale vor îmbunătăți sortimentul cu plante medicinale noi, care prin activitatea lor farmacologică sunt importante, atât din punct de vedere științific, cât și pentru sectorul de producere a produselor farmaceutice pe bază de plante.

MATERIALE ȘI METODE

Patru specii de plante medicinale alohtone (*Asclepias curassavica, Leonotis nepetifolia, Alcea ficifolia, Chamaemelum nobile*) au servit ca obiecte de studiu. Plantele au fost obținute din semințe recepționate prin schimbul internațional (*Index Seminum*) cu instituții științifice de profil din străinătate. Experiențele au fost amplasate pe câmpurile experimentale din cadrul GBNI (Laboratorul de Resurse Vegetale). Semințele primite prin *Index Seminum* au fost semănate în substrat special în sere încălzite, în a treia decadă a lunii februarie. Răsadurile aflate în stadiul de 3-6 frunze au fost transplantate în câmpurile experimentale pentru monitorizare. A fost realizată o analiză a literaturii de specialitate cu privire la importanța lor terapeutică și utilizarea speciilor studiate în medicina populară și modernă. Particularitățile biomorfologice și observațiile fenologice au fost înregistrate folosind ghidurile metodologice specifice domeniului de introducere a plantelor medicinale [1, 2].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Mobilizarea genofondului de plante medicinale este un proces continuu care permite îmbogățirea colecțiilor de plante cu noi taxoni valoroși din punct de vedere terapeutic. În ultimii ani Colecția de Plante Medicinale din cadrul GBNI s-a îmbogățit cu peste 50 de taxoni noi. Printre speciile recent introduse, monitorizate și menținute pe loturile experimentale se numără: iarba fluturilor (*Asclepias curassavica*), nalba cu frunze de smochin (*Alcea ficifolia*), mușețelul roman (*Chamaemelum nobile*) și urechea leului (*Leonotis nepetifolia*) (fig. 1).

Speciile menționate sunt prezentate în tabelul 1, însoțite de informații privind proveniență sursei de germoplasmă, efectele terapeutice, aplicațiile medicinale și alte utilizări.

Tabelul 1. Plante medicinale noi introduse în Grădina Botanică Națională, efecte și aplicații terapeutice.

Denumirea științifică	**Proveniența**	**Partea plantei utilizată**	**Efecte terapeutice**	**Aplicații medicinale**	**Alte utilizări**
Asclepias curassavica	Grădina Botanică din Rostock, Germania	P. a. R	antimicrobian anticancer cardiovascular analgezic antipiretic hemostatic	afecțiuni respiratorii (tuse, febră, bronșită, pneumonie), afecțiuni ale pielii, răni, hemoroizi, carii dentare	plantă ornamentală utilizată în amenajarea spațiilor verzi
Alcea ficifolia	Grădina Botanică din Rostock, Germania	Sm R P. a. Fl F	diuretic calmant emolient astringent	afecțiuni respiratorii, probleme ale pielii, tulburări digestive (gastrite, ulcer stomacal, sindromul de colon iritabil), diabet, erupții cutanate, furuncule.	florile sunt comestibile; plantă decorativă pentru grădini urbane și de curte
Chamaemelum nobile	Grădina Botanică din Wroclaw, Polonia	P. a. Fl	antiinflamator antispastic nervin, tonic vasodilatator emetic antireumatic experimental: antibacterian antimimicotic antioxidant	afecțiuni respiratorii, (tuse, bronșite, febră, astm), inflamații ale cavității bucale și faringelui, afecțiuni digestive (flatulență, inapetență); remediu sedativ și nervin, în special pentru copii	uleiul esențial este folosit în aromaterapie; extractele din flori – în cosmetologie pentru produsele de îngrijire a părului și pielii
Leonotis nepetifolia	Muzeul Național de Istorie Naturală din Paris, Franța	Fr P. a. R	antispastic purgativ diuretic hemostatic hepatic hipoglicemiant antiinflamator	afecțiuni artritice și alte maladii inflamatorii, diabet zaharat, astm, diaree, afecțiuni cardiace asociate cu anxietate	frunzele sunt folosite ca substituent al ceaiului

P. a. – partea aeriană, Fl – flori, F– frunze, R – rădăcini, Sm – semințe

Asclepias curassavica **Griseb.** (familia Asclepiadaceae) este o plantă originară din America de Sud, naturalizată în zone tropicale și subtropicale. Este folosită ca hrană pentru animale, are utilizări ecologice, medicinale și alimentare [3].

Plantă perenă, erbacee cu tulpini de până la 1 m înălțime, surii, puberulente sau glabrescente. Frunze opuse, cu pețiol de până la 1 cm lungime. Lamina foliară lanceolată sau alungit-lanceolată, de 6-15 cm lungime și lată de 1-4 cm, glabră sau abaxial puberulentă de-a lungul nervurilor, baza decurentă, vârf acuminat. Inflorescență cimoasă, compusă din 10-20 flori, de 3,5-6 cm lungime. Pedicel pubescent, de 1,2-2,5 cm lungime. Sepale lanceolate lungi de cca 3 mm și late de cca 1 mm, pubescente. Corola galbenă sau portocalie, de 3,5-4 mm lungime. Fruct – folicule fusiforme de 5-10 cm lungime și de 1-1,5 cm lățime. Semințe ovate, bilateral comprimate.

Partea aeriană și rădăcina sunt utilizate în scopuri medicinale, recoltându-se primăvara și toamna. Produsul vegetal conține flavonoide, glicozide, aminoacizi, carbohidrați, triterpene, cardenolide, rutină, quercitină, kaempferol. Plantele au proprietăți antihelmintice, diuretice, expectorante, diaforetice, antiinflamatorii; experimental: antimicrobiene, anticancerigene, cardiovasculare, analgezice și antipiretice [4]. Este un bun remediu cu efect antihipercolesterolemic, antiprostatic și estrogenic [5]. Este un remediu eficient și în tratamentul afecțiunilor respiratorii, gripă, tuse, bronșită, pneumonie; are efect de combatere a viermilor intestinali și de reducere a edemelor. Planta reduce inflamația membranelor pleurale, induce transpirația, facilitează expectorația și stimulează sistemul limfatic. De asemenea, se utilizează ca hemostatic în rănile sângerânde și hemoroizi, în carii dentare, febră și uretrite. Extern, sub formă de cataplasme și decoct se utilizează pentru tăieturi, răni și alte afecțiuni ale pielii. Rădăcinile de *A. curassavica* conțin o glicozidă, asclepiadina, care este puternic emetică și purgativă, în doze mari fiind extrem de toxică.

Alcea ficifolia **L.** (sin. *Alcea rosea* subsp. *ficifolia* (L.) Govaerts*,* familia Malvaceae) este o specie erbacee, bienală sau perenă cu viață de scurtă durată, înaltă de până la 1,5-2,5 m. Plantă robustă, viguroasă cu frunze mari, adânc lobate, cu textură aspră, de tipul celor de smochin. Flori simple, mari, cu diametrul de 8-12 cm, în formă de pâlnie, în nuanțe de mov, unite în inflorescențe terminale, lungi, erecte, asemănătoare unui spic. Specie nativă din Iran, introdusă în cultură în Germania, Italia, Peninsula Balcanică, România, Rusia, Ucraina [3].

Semințele, rădăcinile, frunzele și florile sunt folosite în scop terapeutic. *Alcea ficifolia,* cunoscută în mod obișnuit sub numele de nalbă, are o varietate de utilizări tradiționale, calmează afecțiunile respiratorii, tratează problemele pielii și ajută la digestie. Este folosită în caz de tuse, răceli, inflamații, precum și pentru iritații ale pielii, erupții cutanate și furuncule. Printre utilizările tradiționale se numără și tratarea ulcerelor stomacale, a diabetului și ameliorarea durerilor. Florile se folosesc sub formă de loțiuni sau cataplasme pentru calmarea diverselor iritații cutanate. Rădăcinile ajută la reducerea acidului gastric și tratarea problemelor digestive conexe, cum ar fi ulcerele peptice, gastrita, colitele și sindromul de intestin iritabil [6].

***Chamaemelum nobile* (L.) All.** (familia Asteraceae). Plantă erbacee, perenă, de regulă ramificată de la bază, verde-surie, pubescentă, cu peri lungi, simpli, dispersați. Tulpini erecte sau ascendente, de 10-30 cm înălțime, ramificate, abundent frunzoase. Frunze sesile, cu excepția celor bazale, cu lamina alungit-liniară, bi- sau tripenat-sectată, de 1-6 cm lungime și late de 4-15 mm, cu lobi înguști, liniari sau liniar-subulați, vârf acuminat. Antodii solitari, situați la vârful tulpinii și a lăstarilor laterali; involucru de 6-12 mm în diametru, cu lacinii albicios lat-membranoase. Flori marginale ligulate, albe, numeroase, cele centrale tubulare, galbene. Fruct – achenă de 1,2-1,5 mm lungime și lat de circa 6 mm, cu 3(4) nervuri proeminente; papus lipsă. Înflorește în iulie-septembrie. Arealul de răspândire cuprinde Europa de Vest, Africa de Nord și Insulele Azore [3].

Florile și partea aeriană se utilizează în scopuri terapeutice. Produsul vegetal conține ulei esențial, sescviterpene, hidroperoxizi, flavonoide, catechine, cumarine, acizi fenolici, triterpene, steroizi, polizaharide. Planta are efect antiinflamator, antispastic, nervin, tonic, vasodilatator, emetic, antireumatic; experimental: antibacterian, anmimicotic și antioxidant [5, 7]. Se utilizează în tuse, bronșite, febră, astm, răceli, inflamații ale pielii, cavității bucale și faringelui, îmbunătățește imunitatea. Este remediu util pentru diverse probleme ale sistemului digestiv, flatulență, inapetență, ca sedativ și nervin, în special pentru copii mici. Extern se utilizează pentru răni, arsuri, nevralgii.

***Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br.** (sin. *Phlomis nepetifolia* L., familia Lamiaceae) este o specie originară din Africa tropicală și subcontinentul indian [3], naturalizată în America de Nord.

Plantă anuală cu înălțimea de până la 2 m, puțin ramificată, cu rădăcină pivotantă. Tulpini erecte, tetramuchiate, pubescente. Frunze cu lungimea de 4-12 cm și lățimea de 2-10 cm, ovate sau lanceolate, pubescente, în special, de-a lungul nervurilor, vârf acut spre acuminat, baza subcordată, atenuată într-un pețiol aripat, margini profund crenate; pețiol de 2,5-6(8) cm lungime. Flori scurt pedicelate unite în verticile multiflore, larg distanțate. Bractee de 1,2-1,4 cm lungime, lanceolate, cu vârf spinos. Caliciul de 13-26 mm lungime, pubescent, cu 8 lobi triunghiulari. Corola tubulară, portocalie, de 1.5-2 cm lungime, pubescentă, buza superioară mult mai lungă decât cea inferioară, de 8-20 mm lungime; buza inferioară de 3-7 mm lungime, pronunțat reflexă. Stamine 4, concrescute cu tubul corolei, exerte. Seminţe negre, alungit-obovate, de culoare maro închis până la negru.

Planta conține alcaloizi, flavonoide, ulei esențial, diterpenoide, polifenoli, glicozide, iridoide, alcaloidul ușor psihoactiv leonurina [8]. Planta are multiple utilizări tradiționale în țările de origine. Frunzele și rădăcinile sunt folosite ca remediu pentru mușcăturile de șarpe și alte înțepături de insecte. Extractele se aplică extern în caz de furuncule, eczeme, boli de piele și crampe musculare. Extractele sunt, de asemenea, folosite pentru a trata febra, răceala, gripa, tusea, bronșita, hipertensiunea arterială și durerile de cap. Infuzia din frunze a fost utilizată în medicina populară pentru a trata

astmul și hepatita virală. Cercetări științifice [9] relevă efecte antiinflamatorii, hipoglicemiante, purgative, antispasmodice ale extractului din plantă, fapt ce oferă credibilitate farmacologică utilizărilor tradiționale ale acestei plante.

În proces de monitorizare continuă sunt și alte specii de plante medicinale recent introduse în colecție (*Marrubium incanum, Urospermum dalechampii, Teucrium lamiifolium, Mentha x villosa, Micromeria graeca, Ageratina altissima, Pycnanthemum muticum, Potentilla fragarioides, Rumex nepalensis, Sideritis scardica,Verbesina encelioides* ș. a.).

CONCLUZII

Speciile noi introduse (*Asclepias curassavica, Leonotis nepetifolia, Alcea ficifolia, Chamaemelum nobile*) importante din punct de vedere economic, medicinal şi ornamental și-au adaptat cu succes ritmul de dezvoltare la noile condiții de creștere. Plantele se caracterizează prin indicatori fenologici relativ constanți, realizează consecutiv toate etapele de vârstă în condițiile pedoclimatice ale țării noastre, demonstrând o capacitate de adaptare și rezistență sporită la condițiile de mediu nefavorabile. Speciile investigate sunt enumerate în tabel, fiind însoțite de informații privind proveniența sursei de germoplasmă, efectele terapeutice și utilizările medicinale, astfel reprezentând o potențială sursă de material vegetal pentru studii ulterioare, dar și pentru sectorul de producere a preparatelor farmaceutice pe bază de plante.

REFERINȚE:

1. SPARKS, T.H., MENZEL, A., STENSETH, N.C. European Cooperation in Plant Phenology. In: *Climate Research*. 2009. 39, 12 p.
2. МАЙСУРАДЗЕ, Н.И., ЧЕРКАСОВ, О.А., ТИХОНОВА, В.Л. Методика исследований при интродукции лекарственных растений. ЦБНТИ. In: *Сер. Лекарств. раст.* 1984. nr. 3, 33 стр.
3. *Plants of the World Online*: Papadakis Publisher, © 2019. Disponibil:https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30112738-2 [accesat 16.06.25].
4. AL-SNAFI, A.E. Chemical constituents and pharmacological effects of *Asclepias curassavica* – a review. In: Asian *J. Pharm. Res*. 2015. nr. 5(2), p. 83-87.
5. *Plants For A Future Database*. Disponibil: https://pfaf.org/user/plantsearch.aspx [accesat: 16.06.2025].
6. *Alcea ficifolia*, Fig leaf hollyhock. *RHS*. [accesat: 16.06.2025].
7. FARHOUDI, R., DONG-JIN, L. Chemical constituents and antioxidant properties of *Matricaria recutita* and *Chamaemelum nobile* essential oil growing in south west of Iran. In: *Free Radical Biology and Medicine*. 2017. nr. 108(1), p. 524. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.04.106

8. GANG, R., KANG, Y. Botanical features and ethnopharmacological potential of *Leonotis nepetifolia* (L.) R. Br: A review. In: *J. Plant Biotechnol*. 2022. nr. 49, p. 3–14. https://doi.org/10.5010/JPB.2022.49.1.003
9. MENEZES BARBOSA, J., CAVALCANTE, M.B., MARRERO DELANGE, D. et al. A review of the chemical composition and biological activity of *Leonotis nepetifolia* (Linn.) R. Br. (lion's ear). In: *Rev. Cuba. Plantas Med.* 2018. nr. 23, p. 4–12.

NB: *Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 010101 „Cercetarea și conservarea ex situ și in situ a diversității plantelor din Republica Moldova", finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al RM.*

SILPHIUM PERFOLIATUM L. – PLANTĂ CU POTENȚIAL MELIFER

SILPHIUM PERFOLIATUM L. – PLANT WITH POTENTIAL FOR HONEY PRODUCTION

CZU: 582.998.16:638.138 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.03**

Natalia CÎRLIG
ORCID: 0000-0001-7712-865X
E-mail: nataliacirlig86@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ana GUȚU
ORCID: 0000-0001-8965-2416
E-mail: ag9152633@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena IURCU-STRĂISTARU
ORCID: 0000-0003-3499-0084
E-mail: iurcuelena@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Zoologie, Chișinău, Republica Moldova

Mihai GADIBADI
ORCID: 0000-0002-7038-5669
E-mail: mm.gadibadi@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*The article presents the results of a study on the biological characteristics of Silphium perfoliatum L., evaluated as a potential melliferous species under the pedoclimatic conditions of the Republic of Moldova. The research, conducted at the "Alexandru Ciubotaru"*

National Botanical Garden (Institute) of the Moldova State University, included phenological observations and an analysis of the spectrum of pollinating insects, with particular focus on the activity of the honey bee (Apis mellifera) during the flowering period of the plants. Surveys carried out on the experimental sectors revealed a high frequency of honey bees on silphium flowers, underlining the value of this species as an important honey resource in the context of adaptation to climate change and the expansion of the assortment of honey plants.

Key words*: development, flowering, insects, phenology, Silphium perfoliatum* L.

INTRODUCERE

Silphium perfoliatum L. este o plantă erbacee, perenă, ce aparține familiei Asteraceae Bercht. & J. Presl., tribul Heliantheae, genul *Silphium,* originară din America de Nord. Este introdusă în Europa în sec XVIII. În Grădina Botanică este cercetată ca plantă furajeră de mai multe decenii, iar în ultimii ani și ca biomasă energetică. În ultima perioadă, silfia este cunoscută ca plantă meliferă de perspectivă, cu productivitate înaltă de nectar, cu valori ce pot varia de la 58 kg/ha până la 205,2-611,6 kg/ha, conform diferitor surse [1, 2, 3, 4, 5], iar producția de miere poate fi circa 150-450-560 kg/ha [5]. Plantele de silfie sunt și o sursă de păstură (polen floral utilizat de albini ca hrană pentru puietul din stup). De asemenea, mierea de silfie nu se cristalizează o perioadă îndelungată, fiind sursă de hrană pentru albini în sezonul rece [6]. Specia este recunoscută pentru potențialul său melifer în mai multe țări, inclusiv Mare Britanie, Germania, Rusia (în special Republica Bașcortostan), Bulgaria [7, 8, 9]. O inflorescență de *S. perfoliatum* produce, în mediu, 122 flori tubulare, iar un disc conține aproximativ 14200 grăuncioare de polen [1]. Mueller și colegii, au calculat productivitatea medie a unei flori silfie: $1{,}75x10^{6}$ grăuncioare de polen, $12{,}5x10^{12}$ grăuncioare de polen/ha, 80 kg/ha nectar pe perioada de vegetație, ce ar asigura cu hrană 34 larve de albini pe sezon și 6 albini lucrătoare pe zi. Conform criteriului apicol de clasificare a plantelor după momentul înfloririi [10], *S. perfoliatum* se atribuie grupului cu înflorire de vară-toamnă, iar în funcție de potențialul de producție plantele se încadrează în grupele 4-5(101-500 kg/ha), uneori în grupa 6, productivitatea fiind de peste 500 kg/ha, variind în dependență de condițiile climatice, cantitatea și calitatea nutrienților administrați în sol.

Florile de silfie sunt vizitate de un spectru variat de insecte polenizatoare și melifere [11]. Monitoringul entomologic efectuat la plantele de silfie din cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru" USM a scos în evidență prezența a 10 specii de insecte melifere și polenizatoare, încadrate în 6 familii (Apidae, Halictidae, Syrphidae, Sarcophagidae, Cerambycidae, Satyridae) și 4 ordine (Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Lepidoptera). Prezența unui spectru variat de insecte asigură o polenizare completă și eficientă.

Pe lângă potențialul său melifer, *S. perfoliatum* se remarcă printr-o rată intensă de creștere, toleranță ridicată la factori biotici și abiotici, precum și calitatea superioară a biomasei, ceea ce îi conferă un potențial semnificativ ca plantă energetică. Este studiată ca sursă pentru producerea de biocombustibili, inclusiv biogaz și combustibili solizi, briche-

tele și peleții [12, 13, 14, 15]. Potrivit unor studii, capacitatea de producție a biometanului din plante recoltate la finele fazei de înflorire este de aproximativ 230 l/kg, iar productivitatea potențială a unei plantații a fost estimată la 6500-7000 m³ de biometan/ha [16]. De asemenea, biocombustibilul solid sub formă de brichete obținut din această specie prezintă o valoare calorică brută de 18,3 MJ/kg [17]. Prin urmare, *S. perfoliatum* se evidențiază ca o specie cu utilitate multiplă, ce poate fi valorificată inițial ca plantă meliferă în perioada de înflorire, iar ulterior biomasa poate fi utilizată pentru producerea de biocombustibili.

Scopul lucrării este cercetarea plantelor de *S. perfoliatum* ca resurse vegetale cu potențial melifer pentru Republicii Moldova, atractive pentru insectele polenizatoare și melifere.

MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările au fost realizate în sectorul experimental al Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru" (GBNI), în cadrul colecției de Plante furajere, melifere și energetice, pe parcursul perioadelor de vegetație 2023-2024. Obiectul studiului l-a constituit specia *Silphium perfoliatum* L., soiul 'Vital', creat și omologat în cadrul instituției. Au fost efectuate observații fenologice și evaluări ale ritmului de creștere și dezvoltare ale plantelor, conform îndrumărilor metodologice descrise în Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ, Методика фенологических наблюдений 1980 [18, 19]. Monitorizarea activității speciei *Apis mellifera*, ca polenizator esențial al plantelor entomofile, producătoare de miere și produse apicole, a fost efectuată începând cu a doua – a treia decadă a lunii iunie (când are loc inițierea fazei de înflorire). Orele de înregistrare a activității insectelor au fost 9:00-12:00 și 14:00-16:00.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Condițiile climatice înregistrate în perioada efectuării cercetărilor, deficitul de precipitații și temperaturile ridicate în perioada activă de vegetație, au influențat creșterea și dezvoltarea unui șir de plante din colecție. Anul 2023 a fost caracterizat de regim termic înalt cu deficit semnificativ de precipitații în perioada august-octombrie, iar anul 2024 – cu deficit de precipitații în perioada de vară, temperatura media a aerului fiind cu 3,0-4,4˚C mai ridicată față de normă, cu deficit semnificativ de precipitații în lunile mai, iulie și august (Fig. 1) [20].

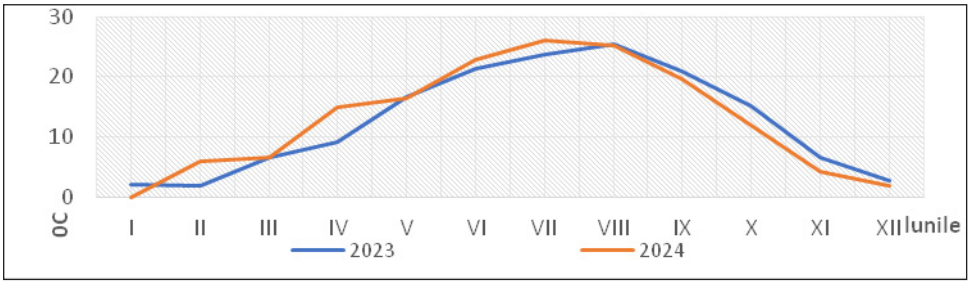


Figura 1. Temperatura medie lunară în perioadele de vegetație 2023-2024.

Flora Republicii Moldova include un spectru variat de culturi melifere, însă schimbările climatice afectează ciclul vital al plantelor, influențând negativ productivitatea și calitatea recoltei. Introducerea unor specii noi, rezistente la variațiile de temperatură, devine o necesitate în scopul asigurării securității alimentare. *Silphium perfoliatum* L. reprezintă o opțiune promițătoare pentru diversificarea resurselor vegetale cu utilitate multiplă, fiind tolerantă atât la temperaturi ridicate, cât și scăzute. În condițiile climatice ale Republicii Moldova, silfia se dezvoltă ca plantă erbacee, perenă, cu tulpină erectă de circa 250-370 cm înălțime, în partea superioară ramificată. Frunzele de culoare verde deschisă, cordiforme, cu poziție opusă pe tulpină, cele inferioare sunt înzestrate cu pețiol, iar cele superioare – concrescute formând o cupă, utilizată pentru păstrarea eficientă a umidităţii. Frunzele ating dimensiuni mari (25-35 cm lungime, 16-22 cm lățime). Demararea vegetației este timpurie, în dependență de temperaturile aerului (valorile optime sunt +3..+5°C,) ce coincide calendaristic cu a treia decadă a lunii martie-prima decadă a lunii aprilie. Durata perioadei de vegetație variază în limitele 197-234 de zile. În primul an de vegetație silfia formează doar o rozetă de 8-12 frunze, iar începând cu anul 2-3 de dezvoltare plantele trec în perioada generativă și formează tulpini florifere.

Studiul fenologic al plantelor de *S. perfoliatum* din cadrul GBNI (Tabelul 1), pe parcursul mai multor perioade de vegetație, a demonstrat adaptabilitatea plantelor la condițiile climatice variabile înregistrate în ultimii ani în Republica Moldova, precum lipsa de precipitații și temperaturile ridicate. Aceste fenomene meteorologice nu influențează semnificativ creșterea și dezvoltarea plantelor mature, cu sistem radicular bine dezvoltat, fiind observate doar ușoare modificări în inițierea și durata fazelor de vegetație. În perioadele de vegetație cercetate, demararea vegetației plantelor de silfie a fost înregistrată în prima decadă a lunii aprilie, ce se caracterizează prin dezvoltarea mugurilor de la nivelul coletului și formarea primelor frunze. După 28-36 de zile de la demararea vegetației, se formează tulpinile principale, drepte și fistuloase.

Tabelul 1. Spectrul fenologic al plantelor de *S. perfoliatum.*

Fazele / **Anul**	**Demararea vegetației**	**Butonizare (în masă)**	**Înflorire (în masă)**	**Fructificare (în masă)**
2023	03.04	22.06	18.07	06.09
2024	02.04	21.06	08.07	02.09

Faza de butonizare începe în luna iunie, iar înflorirea este eșalonată, extinzându-se pe o perioadă de 52–63 de zile. Aceasta are loc, în funcție de condițiile climatice, între a treia decadă a lunii iunie și lunile august–septembrie, asigurând o sursă constantă de hrană pentru albine pe o durată îndelungată. În prima decadă a lunii iulie, plantele pot atinge în înălțime 270 cm, formează lăstari viguroși, cu multe inflorescențe. Pe un lăstar se pot observa simultan 12-21 butoni florali și 3-4 flori deschise. Tot în această perioadă, de la nivelul nodurilor apicali, se formează lăstari generativi. La unele exemplare faza

de înflorire poate fi și mai îndelungată, pe lăstari fiind flori solitare până în a doua decadă a lunii octombrie, durata acestei faze fiind influențată direct de temperatura aerului. Inflorescența este compusă din 20-30 de flori galbene cu diametrul de 3-5 cm. Durata de viață a unei flori este de 3-4 zile.



A B C

Figura 1. *S. perfoliatum* în faza de înflorire cu insecte: A, B – specia *Apis mellifera*, C – specia *Bombus terrestris.*

Sondajele de evidență efectuate pe sectorul experimental, au demonstrat că în faza de înflorire plantele sunt vizitate de un spectru larg de insecte, bondari, muște, fluturi și alte specii de insecte polenizatoare, dar frecvența maximă pe flori au avut-o speciile din familia Apidae (*Apis mellifera, Bombus terestris, B. lapidarius*), prezente pe tot parcursul zilei pe florile de silfie (Fig. 1). Albina meliferă este cunoscută ca specie de interes economic major, ce participă activ la menținerea biodiversității și echilibrului ecosistemelor. Albina colectează nectar și polen de pe o floare de silfie circa 20 sec., uneori fiind observați câte 2-4 indivizi pe același calatidiu. Aceste insecte participă activ la procesul de polenizare și ca rezultat contribuie direct la creșterea productivității semincere a plantelor.

CONCLUZII

Cercetările efectuate în cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru" USM asupra plantelor de *Silphium perfoliatum* L. demonstrează că, plantele dau dovadă de un potențial adaptiv înalt, cu perioada de înflorire îndelungată și eșalonată ce se extinde 52-63 de zile și coincide calendaristic cu a treia decadă a lunii iunie până în luna august, sau lunile iulie-septembrie, în dependență de condițiile climatice.

În faza de înflorire plantele sunt asaltate de un spectru larg de insecte polenizatoare, însă frecvența maximă revine speciilor de insecte din familia Apidae, în special indivizilor speciei *Apis mellifera*, ce colectează nectar și polen de pe flori pe tot parcursul zilei, în acest mod participând activ la polenizare, ce demonstrează și importanța plantelor de silfie pentru apicultură.

Cercetarea și introducerea speciilor noi de plante cu utilitate multiplă, rezistente la condiții climatice variabile, lipsă de precipitații și temperaturi ridicate, vor contribui semnificativ la diversificarea spectrului de resurse vegetale cu potențial melifer, formând

un conveier continuu de surse alimentare pentru insectele polenizatoare și melifere. În acest context, *Silphium perfoliatum* L. se evidențiază ca specie valoroasă, cu multiple beneficii atât economice, cât și ecologice.

REFERINȚE:

1. MUELLER, A. et al. Floral resources provided by the new energy crop, *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). J. Apic. Res. 59, 2020. pp. 232–245.
2. MUELLER, A.; BERGER, C.; SCHITTENHELM, S.; STEVER-SCHOO, B.; DAUBER, J. Water availability affects nectar sugar production and insect visitation of the cup plant *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). Journal Agronomy and Crop Science. 206, 2020. pp. 529–537.
3. PASTUKHOVA, M. The place of *Silphium perfoliatum* in the nectariferous conveyor in the conditions of the south-west of Belarus. Bull. Belarus. State Agric. Acad. 2019, 3, 88–92. Agriculture 10, 640 18 of 22.
4. SAVIN, A., GUDIMOVA, N. The influence of mineral fertilizers on the nectar, forage and seed productivity sylphs standardized. Современные проблемы пчеловодства иапитерапии: монография/под, Рыбное: φГБНУ«φНЦ пчеловодства. In Modern Problem of Beekeeping and Apitherapy; Brandorf, A.Z., Lebedev, V.I., Kharitonova, M.N., Savina, A.P., Savushkina, L.N., Lizunova, A.S., Eds.; Publisher: Rybnoe, Russia; 2019. pp. 186–191
5. KOLTOWSKI, Z. Nectar secretion and honey potential of honey-plants growing under Poland's conditions – part XV. In: Journal of Apicultural Science. Vol. 49, Nr.1, 2005. p. 59-63.
6. АБРАМОВ А. *Сильфия пронзеннолистная в кормопроизводстве.* Киев. Наукова Думка. 1992. 155 с.
7. DANIEL, P. *Silphium perfoliatum* „Durchwachsene Silphie"—Eine neue Bienenweidepflanze. *Biene*, *120*, 1984. Pp. 196–199
8. WRÓBLEWSKA, A. Badania wartości pszczelarskiej *Silphium perfoliatum* L. *Proceedings of the Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Biologia kwitnienia, nektarowania i zapylania roślin"*, Lublin, Poland, 1997. pp. 59–65.
9. HOVES, F. *Plants and Beekeeping. An Account of Those Plants, Wild and Cultivated, of Value to the Hive Bee, and for Honey Production in the British Isles. London: 197*. Frazer Press: London, UK. 2017.
10. PÎRVU, C. *Universul plantelor.* București: Enciclopedia., 2000. 909 p.
11. CÎRLIG, N. Entomofaunistic study on the species *Silphium perfoliatum* L. în the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Section A. Agronomy.* Vol. LXV. No. 2. Bucharest. 2022. pp. 348-353.
12. KOWALSKA, G; BAJ, T.; KOWALSKI, R.; HANIF, M. A. Characteristics of Selected *Silphium* Species as Alternative Plants for Cultivation and Industry

with Particular Emphasis on Research Conducted in Poland: A Review. Sustainability. (2022). 14. 5092. 10.3390/su14095092.
13. ANGELOVA V., KOLEVA V. 2024, *Silphium perfoliatum* a promising energy crop for phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, Vol. XIII, Print ISSN 2285-6064, 672-677.
14. ȚÎȚEI, V. The mobilization of energy crop resources in Moldova. Romanian Agricultural Research, 2023, 40:646-654. ISSN 1222 – 4227
15. GAZOULIS, I.; PYLIOU, K.; KOKKINI, M.; DANASKOS, M.; KANATAS, P.; TRAVLOS, I. Cup plant (*Silphium perfoliatum*): agronomy, uses, and potential role for land restoration. In: *Land*. 2025, no.*14*, 1307. *https://doi.org/10.3390/land14061307*
16. ȚÎȚEI, V., CÎRLIG, N., GUȚU, A. Some biological peculiarities and economic value of the cultivation of cup plant, Silphium perfoliatum L. Studia Universitatis Moldaviae. Seria Științe reale și ale naturii, 6(136): 2020. pp. 79-82.
17. ȚÎȚEI, V. The potential growth and the biomass quality of some herbaceous species for the production of renewable energy in Moldova. Journal of Botany vol. XI, Nr. 1(18), 2019, p. 83-91.
18. БЕЙДЕМАН И. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ, Новосибирск. 1974. 161с.
19. *Методика фенологических наблюдений в ботанических са-дах СССР*. (1972). М., 308 с.
20. meteo.md .

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului 010102 „Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru valorificarea în economia circulară”.*

DROUGHT-TOLERANT AROMATIC AND MEDICINAL PLANTS

PLANTE AROMATICE ȘI MEDICINALE REZISTENTE LA SECETĂ

CZU: [633.82 + 633.88]:632.112 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.04**

Maricica COLȚUN
ORCID: 0000-0001-8470-3616
E-mail: maricicacoltun@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Alina BOGDAN
ORCID: 0000-0002-2069-0454
E-mail: alinkabog90@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Lucrarea are ca obiectiv evidențierea speciilor de plante aromatice și medicinale introduse și cercetate în decursul anilor în cadrul Colecției Grădinii Botanice Naționale (Institut), cu un potențialul adaptiv înalt la condițiile noi de creștere și un conținut sporit în substanțe biologic active. Cultura plantelor agricole în ultimul timp se confruntă cu un impact negativ ale schimbărilor de climă și provocărilor de mediu, principalele fiind, deficitul de umiditate în sol și temperaturile excesiv de înalte ale aerului în perioada critică de dezvoltare a plantelor. Schimbările climatice și fenomenele meteorologice extreme au crescut în frecvență și intensitate, ceea ce face ca seceta să devină o problemă stringentă pentru întreaga lume. În acest contest, plantele rezistente la seceta au devenit o soluție ecologică și eficientă pentru agricultură în condiții de apă limitată. O alternativă la culturile tradiționale, cu necesități considerabile de umiditate, sunt speciile de plante aromatice și medicinale rezistente la secetă, propuse pentru a fi cultivate pe suprafețe extinse.*

Cuvinte-cheie: *mobilizare, plante aromatice, ulei volatil, secetă, schimbări climatice.*

INTRODUCTION

One of the research directions of the Plant Resources Laboratory is focused on the identification and study of aromatic and medicinal plant species, with the aim of developing an assortment of crops tolerant to abiotic stress factors, which would provide high yields with a high content of biologically active substances, in particular – high-quality essential oil, even under drought conditions. Such research has intensified significantly in recent decades, being driven by climate change, the slow but persistent processes of global warming, and the desertification of some areas, including south-eastern Europe, where agricultural crops are affected by drought, and increasingly frequent critically high temperatures [1].

Drought poses a major challenge by limiting plant productivity. Drought-induced stress can hinder vital processes such as respiration and photosynthesis, affecting various

aspects of plant growth and metabolism. In response to this stress factor, aromatic and medicinal plants have the ability to activate various adaptive mechanisms such as morphological and structural adjustments, modulation of drought-tolerant genes, increased synthesis of secondary metabolites and osmotic regulators to alleviate drought stress [2]. Under drought conditions, plants adapt by decreasing stomatal density and leaf size, thereby minimizing water loss and maintaining internal water balance [3].

Drought-induced changes have been observed in both the quantity and quality of essential oils. Numerous studies have provided evidence of essential oil accumulation triggered by drought stress, often associated with physiological adaptations to water deficit [4].

Experience has shown that the negative impact of drought can be substantially reduced by cultivating aromatic species that have evolved unique survival mechanisms during periods of drought, such as a well-developed root system that reaches deep in the soil, and waxy leaves that increase their ability to store water. Combining these characteristics, such plants become extremely valuable in drought-prone regions. Many aromatic species not only tolerate droughty conditions but also thrive on low-fertility soils, slopes, and eroded land, often helping to prevent further erosion. Further, we will explore several drought-tolerant and easy-to-cultivate species, such as: *Lavandula angustifolia* L, cv. 'Lavinie de grădină', *Salvia officinalis* L.*, Perovskia atriplicifolia* Benth*, Origanum vulgare* L., *Hyssopus officinalis L.*, *Thymus vulgaris* L., *Echinacea purpurea* L. Moench. These plants are notable for their high essential oil content, making them valuable for applications in aromatherapy, phytotherapy, culinary arts, and the cosmetic and food industries. Due to their wide range of uses and year-round availability, whether fresh or dried, they offer a viable alternative to traditional field crops, particularly in droughty regions.

MATERIALS AND METHODS

The research conducted covers the period from 2017 to 2024, during which a diverse gene pool of aromatic plants was mobilized and preserved in the Botanical Garden, building upon a collection established in 1950. The experiments were carried out within the Collection of Aromatic Plants, part of the Plant Resources Laboratory, located in an area characterized by rich chernozem soil, occasionally slightly sandy, which supports the normal development of the introduced species. Over time, research has focused on the ontogenetic characteristics of the plants, the content and chemical composition of essential oils, and the identification of factors limiting species adaptation to new environmental conditions. Various propagation methods were studied, and primary cultivation technologies were developed, including recommendations tailored to specific abiotic factors. Observations were made on the reaction of plants to cold waves occurring in early arrival autumn, or late spring frosts, plant resistance to low temperatures, the impact of photoperiod, the influence of shortage and excess of atmospheric precipitation, as well as the resistance of plants to diseases and pests [6]. The essential oil content of

the plants was determined by steam distillation method [7]. The chemical composition of the essential oil was determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis using an Agilent Technologies 6890N gas chromatograph coupled to a 5975 inert XL Mass Selective Detector (MSD). Phytochemical analyses were performed at the "Stejarul" Biological Research Center, Piatra Neamț, Romania.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Lavender is one of the most famous drought-tolerant aromatic plants, being appreciated for its unique, distinctive aroma. Native to the Mediterranean region, it has demonstrated excellent adaptability to local pedoclimatic conditions and is capable of surviving and flowering even under prolonged drought stress. Lavender (*Lavandula angustifolia*) Mill cv. 'Lavinia de grădină', is a patented cultivar developed at the Botanical Garden. It is notable for its high essential oil content, ranging from 1.7% to 1.9%. Analysis of the chemical composition of the essential oil revealed linalool (70.8%) and linalyl acetate (5.4%) as the primary constituents, followed by compounds such as lavandulol and eucalyptol.

The active compounds found in lavender flowers exhibit antiseptic, mild antispasmodic, depurative, and calming properties. These make the plant suitable for use in managing a variety of conditions, including neurocardiac disorders, renal diseases, rheumatism, biliary dyskinesia, colds, coughs, migraines, and epilepsy. Additionally, both the flowers and essential oil of lavender are known for their culinary applications as flavoring agents.

Lavender is propagated generatively – through seeds, or vegetatively – by rooted cuttings and marcottes obtained from 3-4 year old plants. It is a low-maintenance species with minimal soil requirements, offering a distinct advantage over crops that depend on nutrient-rich soils. Its deep root system enables access to water from lower soil layers, thereby reducing the need for frequent irrigation. Additionally, its leaves are coated with a thin waxy layer that significantly minimizes water loss through evaporation. This cultivar is resistant to diseases and pests, reducing the reliance on pesticides and other harmful agrochemicals. However, it is intolerant of waterlogged soils and prefers full sun exposure, making it especially well-suited to arid climates with limited water availability. The cultivar is not only drought-tolerant but also naturally repels harmful insects. In addition, it exhibits high ornamental value and strong melliferous (honey-producing) potential. Once established, plantations of this cultivar can remain productive for a long period, about 10 to 15 years. Due to its adaptability, low requirements, and multiple uses, the cultivar demonstrates a high level of economic efficiency and presents numerous advantages for agricultural cultivation.

Common sage (*Salvia officinalis* L.) is a species cultivated in the Republic of Moldova that has been valued since ancient times for its aromatic, medicinal, and culinary properties. It was among the first aromatic species to be grown on an industrial scale in the country. Native to the Mediterranean region, sage has successfully adapted to

the hot and dry pedoclimatic conditions of Moldova, demonstrating the ability to survive prolonged drought while producing high-quality essential oil. Sage prefers well-drained soils and full sun exposure. The plant has waxy leaves that help reduce water loss through evaporation. The root system is a branched, lignified, taproot that reaches in the soil depths of up to 1.5 m, making it possible to access water from deeper soil layers. Another merit of sage is its role in traditional cuisine, being used to flavor meat and other various dishes. Its multiple properties, combined with its drought-tolerance, make sage a valuable plant to be cultivated. Sage has medicinal properties, being traditionally used to treat various conditions, such as inflammation and respiratory disorders.

Salvia officinalis is a thermophilic species, germinating at temperatures of +8…+11 °C. It requires warm summers and mild winters for optimal growth. The synthesis of essential oil is most active at high temperatures, particularly during long, sunny summer days. While sage prefers full sunlight, it can also be cultivated in partial shade and on less fertile soils, such as limestone slopes or sandy areas, making it suitable for the rehabilitation of degraded lands. Sage cultivation can be initiated by direct seeding in the field. For smaller plots, propagation by seedlings is recommended, with transplanting typically carried out in late April to early May. The species can also be propagated vegetatively using young, lignified shoots. In spring, mature stems are cut back to a height of approximately 10 cm above the ground, stimulating the development of vigorous new shoots with large leaves, thereby enhancing the yields. Salvia thrives in hot, dry climates. It is considered an excellent honey and ornamental plant.

Russian sage (*Perovskia atriplicifolia* Benth.) is a relatively new crop in the Republic of Moldova and is currently cultivated on a limited scale. Introduced and studied at the Botanical Garden for its aromatic and medicinal properties, the plant forms a bush with 17-18 stems and reaches a height of 80-90 cm under local climatic conditions. During the full flowering phase, the essential oil content reaches 0.54%. The chemical analysis identified 39 compounds in the essential oil, with the major constituents being 1,8-cineole and limonene (40.13%), followed by α-pinene (17.87%), δ-3-carene (9.13%), β-pinene (6.59%), camphene (6.17%), and camphor (5.36%). These compounds contribute to a range of biological activities, including antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, and antitumor effects. It can be propagated both generatively and vegetatively – through cuttings taken in summer from green or partially lignified shoots. Russian sage is resistant to pests and diseases and is characterized by a strong aroma. Its high drought tolerance and low water requirements make it well-suited for cultivation even in arid or drought-prone areas.

Oregano (*Origanum vulgare* L.), which is native to southern Europe, is another well-known species present in the wild flora of the Republic of Moldova. Although introduced to industrial cultivation quite recently, oregano has adapted well to the country's ecological conditions and is now grown on a small scale as an aromatic and medicinal plant with significant melliferous (honey-producing) potential. The aerial parts of the plant contain essential oil rich in compounds such as thymol, carvacrol, cymol,

and origanene. This essential oil is widely utilized in the cosmetic and pharmaceutical industries due to its valuable bioactive properties.

Due to the high global demand for oregano essential oil, some enterprises have begun introducing various genotypes of this species into large-scale cultivation. Oregano is a long-day plant that is undemanding in terms of soil quality and moisture availability. It demonstrates strong resistance to both low winter temperatures and extreme summer heat. In the wild, it commonly grows along forest edges, in shrublands, and along roadsides throughout the country. Oregano plantations can be established either by direct sowing in the field or by transplanting seedlings produced in nurseries during the spring. The vegetative method by division can serve as an alternative. The plants typically flower from July to August. Oregano can be used both fresh and dried, the dried form being preferred due to its longer shelf life.

Thanks to its special therapeutic effects, oregano is an economically profitable, drought-tolerant medicinal plant that deserves to be cultivated on larger areas.

Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) is a perennial subshrub, native to Central Asia. In Moldova it is cultivated on small areas as an aromatic and medicinal species. It produces essential oil, the main components of which include pinocamphone, followed by camphene, myrtenol, tannins, flavonoids, and bitter principles. The plant is used in the cosmetic industry, in the production of liqueurs, in gastronomy, and in medicine.

Hyssop is a light-loving species requiring a warmer climate, and is known for its high essential oil yield. During winter, it can withstand severe frosts of -25°C to -30°C, if the soil is covered. It has low humidity requirements and can tolerate drought conditions from the second year of growth. Propagation can be carried out vegetatively, through cuttings or division, or generatively, by sowing seeds directly into the soil in early spring or late autumn. Hyssop thrives on calcareous soils, though it's overall soil requirements are minimal, making it suitable for anti-erosion measures on steep slopes and for stabilizing mobile sands.

Common thyme (*Thymus vulgaris* L.), native to the Mediterranean region, grows naturally in countries such as Spain, France, and Portugal. It is a perennial subshrub that develops a taproot and begins to branch extensively from the second year of cultivation. The stem reaches a height of approximately 40 cm and becomes lignified at the base. In the Botanical Garden, it is studied for its aromatic, medicinal, and melliferous properties. Flowering occurs from May to July.

The aerial parts of the plant have a strong aromatic scent and intense flavor, attributed to the presence of essential oils rich in compounds such as carvacrol, borneol, cineole, geraniol, and linalool. The essential oil content typically ranges from 0.2% to 0.9% in the green biomass, depending on cultivation practices and climatic conditions. Thyme is widely used in the cosmetic and pharmaceutical industries due to its antiseptic properties, as well as for culinary purposes, including the flavoring of dishes, vinegars, and wines. It is a light- and heat-demanding species. While cultivated, thyme is generally drought-tolerant, but may require watering during the germination phase. It grows

optimally on fertile, calcium-rich, well-drained soils, with the southern and southwestern regions of the country being most suitable for cultivation. Propagation can be achieved both vegetatively - by dividing plants from older plantations - and generatively, either through direct sowing in the field or by transplanting nursery seedlings.

Another notable drought-tolerant species is the eastern purple coneflower (*Echinacea purpurea* L. Moench), a perennial plant native to North America. It is valued both for the striking appearance of its pink-purple flowers and for its medicinal properties. Its exceptional drought tolerance is attributed to a deep root system and the ability to retain water efficiently. Research has demonstrated that *Echinacea purpurea* can be successfully cultivated under the climatic conditions of the Republic of Moldova, where it exhibits abundant flowering and fruiting, and the quality of the seed material supports the expansion of the crop in line with the increasing demand. Preferring well-drained soils and sunny locations, eastern purple coneflower is well-suited for large-scale cultivation in dry regions. The cultivation cycle typically spans 2-3 years and, in some cases, up to 4 years. The plant can be propagated through cuttings, seeds, or transplanted seedlings. *Herba* can be harvested as early as the first year, although the yield is generally low. If planted early, flowering may occur within the first year; however, it is recommended to harvest flowers starting in the second year, when yields are more substantial. For the extraction of active compounds from the roots, harvesting is performed in the second or third year of cultivation, at the end of the growing season. The leaves of this plant are covered with fine hairs that reduce water loss through evaporation. The flowers attract a wide range of pollinators, such as bees and butterflies, making this plant a valuable nectar source during the summer and autumn months, thus increasing its melliferous value. In addition to its ornamental value, eastern purple coneflower is widely used in traditional medicine, particularly, to enhance the immune system and to alleviate symptoms of the common cold. Due to its aesthetic appeal, medicinal benefits, and strong adaptation to arid environments, *Echinacea purpurea* is a valuable addition to both botanical collections and sustainable agricultural systems. This species not only adds aesthetic value to a plant collection, but also can provide health benefits and can be successfully grown in arid areas.

CONCLUSIONS

Research demonstrates that the negative impact of drought can be significantly reduced through the cultivation of drought-tolerant aromatic and medicinal plant species such as *Lavandula angustifolia* L. cv. 'Lavinie de grădină', *Salvia officinalis* L., *Perovskia atriplicifolia* Benth, *Origanum vulgare* L., *Hyssopus officinalis* L., *Thymus vulgaris* L. and *Echinacea purpurea* L. Moench. These species provide a stable supply of high-quality raw materials for the pharmaceutical and cosmetic industries, characterized by a high content of active compounds. Over time, the cultivation of aromatic and medicinal plants has become an important source of income for rural communities. Their diverse applications have driven ongoing research on their chemical composition, qual-

ity and potential health benefits. The favorable pedoclimatic conditions of the Republic of Moldova have supported the introduction of both native species and those from other geographical regions into large-scale cultivation.

Many aromatic and medicinal plants are naturally resistant to abiotic stressors (frost, wintering, drought) as well as biotic factors (diseases and pests). Therefore, they easily adapt to the challenges posed by climate change and global warming. When selecting species for cultivation in a given area, it is essential to consider the complex interaction between environmental factors, ensuring a balanced match between local pedoclimatic conditions and the biological needs of the plants. The development and implementation of optimal cultivation technologies and recommendations play a key role in growing successfully aromatic plants under arid conditions. In the Republic of Moldova, traditional species such as sage, mint, lavender etc. are already cultivated using established agrotechnical practices. At the same time, ongoing research is aimed at expanding the range of cultivated aromatic plants.

REFERENCES:

1. GONCEARIUC, M. Cultivarea soiurilor de plante medicinale și aromatice în scopul diminuării impactului negativ al secetei. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/154-154_10.pd
2. ZOHREH EMAMI BISTGANI, ALLEN V. BARKER et.a. Physiology of medicinal and aromatic plants under drought stress. The Crop Journal Volume 12, Issue 2, April 2024. Pages 330-339. https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.12.003
3. Z. DING, E.F. ALI ELMAHDY et. a. Modeling the combined impacts of deficit irrigation, rising temperature and compost application on wheat yield and water productivity. Agric. Water Manage., 244 (2021), Article 106626. https://www.researchgate.net/publication/345604500
4. EMAMI BISTGANI, Z., ATAOLLAH, S. et. a. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of (*Thymus daenensis* Celak) Crop J., 5 (2017), pp. 407- 415.
5. MUSTEAȚĂ, G. Subarbuști medicinali și aromatici cultivați. Chișinău, 2007, 107.p. ISBN 978- 9975-946-59-9.
6. БЕЙДЕМАН, И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Москва, Наука, 1974. с. 280.
7. Государстенная фармакопея СССР. Москва, 1968. 993 с.

N.B.*The research was carried out with the support of the research Subprogram 010101 ,,Research and ex situ and in situ conservation of plant diversity in the Republic of Moldova".*

APPLICATION OF MILLIMETER RADIATION TO INCREASE THE VIABILITY OF LENTIL (*LENS CULINARIS* L.) SEEDS DURING *EX SITU* CONSERVATION

APLICAREA RADIAȚIEI MILIMETRICE PENTRU SPORIREA VIABILITĂȚII SEMINȚELOR DE LINTE (*LENS CULINARIS* L.) ÎN TIMPUL CONSERVĂRII *EX SITU*

CZU: 631.53.027:635.658 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.05**

Liudmila CORLATEANU
ORCID: 0000-0002-1018-1832
E-mail: liudmila.corlateanu@sti.usm
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Anatolie GANEA
ORCID: 0000-0002-8658-6879
E-mail: anatolie.ganea@sti.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Serghei MASLOBROD
ORCID: 0000-0002-2678-7847
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *S-a demonstrat că, în condiții de conservare ex situ, expunerea semințelor de linte, ca reprezentantă a culturilor leguminoase, la radiații milimetrice (MMI) cu o lungimea de undă de 5,6 mm, densitatea puterii de 6,6 mW/cm2 și expoziția de 30 de minute are ca rezultat cea mai mare stimulare a proceselor de germinare. Această concluzie a fost obținută pe baza parametrilor morfofiziologici (energia germinativă și germinarea semințelor), biochimici (activitatea enzimei o-AIA, suma proteinelor ușor solubile din rădăcinile semințelor) și genetici (frecvența și spectrul aberațiilor cromozomiale din meristemul rădăcinii) ai semințelor și plantulelor. S-a constatat că stimularea proceselor metabolice primare ale semințelor și plantulelor de linte are loc atunci când se utilizează expuneri mai lungi (30 min) pe semințe decât cele în experimentele asupra semințelor de legume, cereale și culturi industriale (expuneri de 2…8 min). În consecință, prin intermediul radiațiilor milimetrice este posibilă creșterea viabilității semințelor de linte în timpul conservării ex situ, ceea ce este extrem de important și necesar pentru menținerea genofondului vegetal.*

Cuvinte-cheie: *iradierea milimetrică, semințe, lintea, energia germinativă, capacitatea de germinare, enzima o-AIA, suma proteinelor ușor solubile, frecvența aberațiilor cromozomiale,Colecții active, banca de gene, conservarea ex situ, expuneri la iradiere.*

INTRODUCTION

The main objective of plant genetic banks is to provide breeders with high quality

seed material for breeding purposes while developing higher yielding and more resistant varieties and hybrids. There is also an urgent need to conserve plant populations that are on the verge of extinction until they can be reintroduced to their former natural environment [1]. The role of plant genetic resources in the development of sustainable agricultural development, food production and environmental protection is enormous. During *ex situ* conservation, complex physiological and biochemical aging processes occur in seeds, which eventually lead to loss of germination under field conditions. Seed aging has a negative impact on obtaining genetically homogeneous material. Therefore, it is necessary to apply various methods of exogenous influence on old seeds to increase their viability. In recent decades, various chemical and physical methods are often used to improve seed viability during *ex situ* conservation. Weak electromagnetic fields of millimeter range are widely used in medicine, biology and crop production [2, 3]. Millimeter radiation is one of the promising physical factors and, being absorbed in the treated plant, unlike chemical methods of treatment, has a direct effect on the vitality of the plant. Positive is the fact that the treatment of seeds with MMI does not introduce any harmful substances into the plant object or the environment, which is of great importance for agriculture [4].

In recent years, we have studied the possibility of using millimeter radiation on seeds of various taxonomic groups during *ex situ* conservation in the plant genetic bank. As a result of numerous experiments, many different data were obtained confirming the feasibility of using this method to activate the primary metabolic processes of seeds of various agricultural plant species [5, 6, 7, 8, 9]. The application of millimeter radiation on plant objects is more promising and effective compared to other physical factors (strong electric and magnetic fields, high and low temperature).

The aim of this work was to study the possibility of millimeter radiation application on lentil seeds to increase seed viability during *ex situ* conservation in the plant genetic bank.

MATERIALS AND METHODS

The article presents experimental data on the effect of millimeter radiation on seeds of grain legume plants, in particular lentils (*Verzuie* variety), after 9 years of storage in the plant genetic bank in order to increase their viability. Dry lentil seeds were irradiated by MMI with a wavelength of 5.6 mm, power density of 6.6 mW/cm^2 at 3 exposures: 2, 8 and 30 minutes. In each variant of the experiment 300 seeds were irradiated in 3-fold repetition, in the control - seeds without irradiation. After treatment, seeds were germinated in Petri dishes in a thermostat at 25°C. After germination of lentil seeds, the following morphophysiological, biochemical and genetic parameters of seeds and seedlings were studied: germination energy (GE) and germination capacity (GC) of seeds [10], activity of the enzyme o-IAA [11], the sum of readily soluble proteins (SRPP) in seeds and seedling roots [12], and the number of chromosomal aberrations (NCA) in the cells of primary seedling roots [13]. The data were processed using the *Statistica 7* program package.

RESULTS AND DISCUSSION

Significant stimulation of germination energy of lentil seeds was found at 30-min exposure to MMI irradiation (11.5% higher than the control), and significant inhibition of GE - at 2-min exposure (11.7% decrease of the parameter) (fig.). This peculiarity was also manifested when conducting similar experiments on chickpea seeds. It should be noted that stimulation of germination energy on seeds of other plant species was detected only at short MMI exposures (2 and 8 min). A similar pattern was maintained when determining seed germination, which was maximum at 30-min exposure (89.0%), germination exceeded the control by 11.4%. At 30-min stimulation exposure of MMI a lower content of the enzyme o-IAA (0.555u.u.) in seedlings compared to the control (0.435u.u.) was observed, at inhibitory 2-min exposure the opposite dependence was revealed, which corresponds to the known pattern - inverse correlation between these parameters [14].

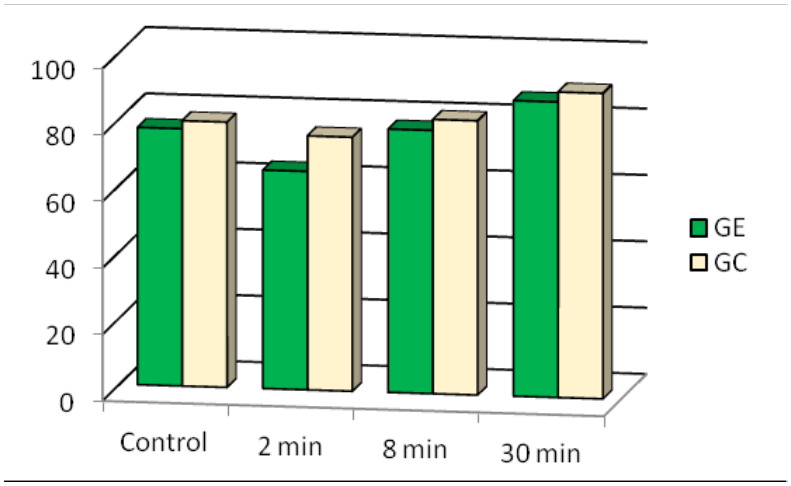


Figure. Germination energy and germination capacity (%) of lentil seeds under millimeter radiation

The obtained data indicate the stimulation of growth activity of lentil seedlings at 30 min MMI exposure and correlate with germination energy and seed germination.

Enhancement of growth activity of lentil seedlings after prolonged seed storage under 30-minute stimulation exposure to millimeter radiation was accompanied by an increase in protein synthesis in both seeds and roots compared to the control. The excess amounted to 150 and 170 μg/g of crude matter, respectively. When 2-minute inhibitory exposure of seeds to MMI irradiation was used, protein synthesis decreased in seeds and roots (by 60 and 35 μg/g of crude matter, respectively) compared to the control (table 1).

Table 1. Some biochemical parameters of lentil seeds and seedlings when seeds are exposed to millimeter radiation

No. n/a	Variants MMI exposures, min	o-IAA, c. u.	SRPP, µg/g crude matter	
			roots	seeds
1	Control	0,555	180	250
2	2	0,910	120	215
3	8	0,670	225	370
4	30	0,435	330	420

After chromosome analysis in the cells of seedling roots as a result of irradiation of lentil seeds after long-term storage with millimeter radiation, a decrease in the number of chromosomal aberrations was detected compared to the control at exposures of 8 and 30 minutes (by 3.5 and 3.2%, respectively, control - 7.5%) (table 2).

It is known that the number of chromosomal abnormalities in seedling root cells increases during long-term seed storage, and with the help of millimeter radiation it is possible to restore the normal genetic state of seeds. Differences in the types of chromosomal aberrations were also found. In stimulation variants using MMI irradiation exposures of 8 and 30 minutes, the number of single and double chromosomal bridges was sharply reduced and triple bridges were completely absent. In the same variants, the number of single chromosome bridges decreased from 14,0 in the control to 6,0 and 7,0 in the experiment, respectively, and double bridges to 4,0 and 3,0, respectively (control – 6,0). Chromosome lagging in the cells of lentil seedling roots in the variant with 30 min exposure to MMI irradiation was observed 2 times less frequently compared to the control.

Table 2. Effect of millimeter radiation on the frequency and spectrum of chromosomal aberrations in the meristem of lentil seedling roots

No. n/a	Variants of exposures MMI, min	NCA, %	Types of aberrations			
			Chromosomal bridges			Lagging chromosomes
			X	XX	XXX	
1	Control	7,5±1,25	14,0	6,0	3,0	6
2	2	6,8±1,19	9,0	8,0	4,0	8
3	8	4,0±0,55*	6,0	4,0	-	4
4	30	4,3±0,65*	7,0	3,0	-	3

X, XX, XXX - single, double and triple bridges, respectively
** - differences are significant compared to control ($p<0.05$)*

Consequently, such a physical factor as millimeter radiation contributes to the strengthening of repair processes in plant cells. In this case, there is a faster elimination of cells with chromosomal abnormalities and an increase in the number of normally di-

viding cells. Thus, the ability of millimeter radiation to restore the normal state of cells, the viability of which decreases after long-term storage of seeds in the genetic bank of plants, was shown at the genetic level.

CONCLUSIONS

1. The effect of millimeter irradiation (wavelength 5.6 mm, power density 6.6 mW/cm^2, exposure 30 minutes) on lentil seeds as a representative of leguminous crops during *ex situ* conservation has a positive stimulating effect on seeds and activates the primary metabolic processes of seeds and seedlings.

2. Based on the studied morphophysiological, biochemical and genetic parameters of seeds and seedlings it is reasonable to propose the use of millimeter radiation to increase the viability of lentil seeds after their long-term storage in the genetic bank of plants.

REFERENCES:

1. WALTERS, C. *Principles for Preserving Germplasm in Genbanks. Ex situ plant Conservation: Supporting Spesies Survival in the Wild.* Island Press, Covela, CA, 2004, p. 113-138.
2. БЕЦКИЙ, О.В., ЛЕБЕДЕВА, Н.Н. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в биологии и медицине. În : *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. 2007, №1, с.33-57.
3. КАРПОВИЧ В.А., САВУК А.А., ВОЛЫНЕЦ Г.И., ВОЙНОВ Г.М. Микроволновая технология предпосевной обработки для семян рапса. Материалы XV Российского симпозиума «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 22-27 мая 2009 г., Москва, 2009, с.270-275.
4. ШЕСТОПАЛОВА, Н.Г., МАКАРЕНКО, Б.И., ГОЛОВИНА, Н.Л. и др. Модификация синхронизирующего первые митозы эффекта радиоволн ММ-диапазона разными температурными режимами проращивания облученных семян. În*: Миллиметровые волны в медицине и биологии*, Сборник докладов X Российского симпозиума, Москва, 1995, с. 236.
5. КОРЛЭТЯНУ, Л. Б. *Жизнеспособность семян культурных растений в условиях консервации ex situ при действии миллиметрового излучения*. Кишинев: 2012. 156 с. ISBN 978-9975-62-313-1.
6. КОРЛЭТЯНУ, Л.Б., ГАНЯ, А.И., МАСЛОБРОД, С.Н. Влияние миллиметрового излучения на первичные процессы метаболизма семян клещевины (*Ricinus communis* L.) в условиях консервации *ex situ.* În*: Realizări științifice în ameliorarea culturile cerealiere și elemente tehnologice inovative în contextul schimbărilor climaterice,* 4-5 septembrie 2020. Chisinău, p. c. 213-219. ISBN 978-9975-56-177-8.

7. MASLOBROD, S.N., KORLATYANU, L.B., GANEA, A.I. Influence of Millimetric Radiation on the Viability of Plants: Changing of Metabolism of Seeds at the factor's Influence on Dry Seeds. In: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2010, vol.46, no 5, p.477- 488. ISSN 0013-5739.
8. МАМЕДОВА, С.А., ДЖАФАРОВА, Э.Э., ИБРАГИМОВА, З.Ш. и др. Влияние электромагнитного излучения на семена бобовых культур. În: *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2024, т. 51, № 3, с. 25-31. ISSN 2309-348X. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-25-31.
9. KOMATSU, S., HAMADA, K., FURUYA, T. et. al. Membrane Proteomics to Understand Enhancement Effects of Millimeter-Wave Irradiation on Wheat Root under Flooding Stress. In: *Int. J. Mol. Sci*., 2023, vol. 24, 9014. https://doi.org/10.3390/ijms24109014.
10. *International rules for seed testing*. M.: Колос, 1984, 310 с.
11. ГАМБУРГ, К.З. *Методы определения регуляторов роста и гербицидов*. Москва, 1966, с.57-63.
12. АНГЕЛОВА, В. С., ХОЛОДОВА, В.П. Выделение растворимых белков из зародышей семян пшеницы разной жизнеспособности. În: *Физиология растений*. 1993, т. 40, № 6, с.889-892.
13. ПАУШЕВА, З.П. *Практикум по цитологии растений.* Москва, 1974, 288 с.
14. ГАМБУРГ, К.З. *Биохимия ауксина и его действие на клетки растений*. 1976, с.86-88.

N.B. *The research was carried out within the framework of Subprogram 011102 Expansion and conservation of genetic diversity, improvement of agricultural crop gene pools in the context of climate change, funded by the Ministry of Education and Research.*

EVALUAREA PERFORMANȚELOR DE CREȘTERE A CIANOBACTERIEI *NOSTOC GELATINOSUM* SCHOUSBOE EX BORNET & FLAHAULT CULTIVATĂ PE DIFERITE MEDII NUTRITIVE

EVALUATION OF THE GROWTH PERFORMANCE OF THE CYANOBACTERIA *NOSTOC GELATINOSUM* SCHOUSBOE EX BORNET & FLAHAULT CULTIVATED ON DIFFERENT NUTRIENT MEDIA

CZU: 582.232:631.461.5 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.06**

Sergiu DOBROJAN
ORCID: 0000-0003-0040-5836
E-mail: sergiudobrojan84@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina DOBROJAN
ORCID: 0009-0003-1629-2220
E-mail: galinadobrojan87@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The growth performance of the cyanobacterium Nostoc gelatinosum is dependent on the composition of the nutrient medium. Mediums rich in macro- and microelements favored rapid biomass accumulation and accelerated the growth cycle, in contrast to the deficient medium, which limited cell mass production but stimulated the dimensional expansion of vegetative cells without causing morphological abnormalities. Periodic observations revealed a self-regulating mechanism of cell dimensions, in which the alternation of expansion and contraction phases respects the fundamental biological principles of development. These results emphasize the applicability of these media both for the efficient obtaining of biomass for biotechnological purposes and for the stable maintenance of cultures in collections.*

Keywords: *biomass, cellular autoregulation, growth cycle, Nostoc gelatinosum, nutrient medium.*

INTRODUCERE

Conform actualelor clasificări specia *Nostoc gelatinosum* Schousboe ex Bornet & Flahault, conform redenumirii acceptate de curând, face parte din filumul *Cyanobacteria*, clasa *Cyanophyceae*, subclasa *Nostocophycidae*, ordinal *Nostocales*, familia *Nostocaceae*, genul *Nostoc*. Specia formează colonii inițial umflate-tuberculate, de mărimea unei măsline, apoi răspîndite neregulat, de culoare marou, fără un periderm puternic. Lanțurile de trihomi de obicei sunt aranjate vag, tecile fiind conservate bine doar la periferiile coloniei, de culoare brun-gălbuie. Celulele sunt de obicei cilindrice alungite cu

lățimea de aproximativ 4 μ și 5-10 μ lungime. Heterocistele sunt elipsoidale, cu lățimea de aproximativ 5 μ și 5-10μ în lungime. Sporii sunt alungiți, cu lățimea de 6-8 μ și 8-14 μ în lungime, cu înveliș marou și dur (fin spinos). Specia a fost depistată în Italia, Africa, America de Nord, și preferă solurile umede și stînci umede mai rar în izvoare calde [1]. Cercetările recente realizate în regiunea unei pajiști din India au evidențiat existența speciei *N. gelatinosum* în biotop de rînd cu alte 10 specii de cianobacterii din genul *Nostoc* [2].

Interesul cultivării speciei este argumentat de posibilitatea utilizării biomasei în agricultură ca biofertilizant, deoarece specia are proprietatea de fixare biologică a azotului atmosferic și de rezistență la condițiile de secetă o perioadă îndelungată de timp, în biotehnologie datorită acumulării în biomasă a substanțelor biologic active foarte importante pentru om și animale (vitamine, proteine și diverși acizi grași importanți) [3, 4]. Biomasa cianobacteriiilor din genul *Nostoc* este importantă și poate fi valorificată în medicină pentru obținerea preparatelor medicinale cu utilitate în tratamentul gutei și al unor forme de cancer, a sistemului nervos, previn bolile neurodegenerative și tulburările mintale și sunt utilizați pentru prevenirea bolilor cardiovasculare și a diverselor infecții [5, 6, 7].

Un interes deosebit al cultivării acestei specii este legat de capacitarea acesteia de fixare biologică a azotului și beneficiile obținute atât asupra solului cât și asupra plantelor de cultură la aplicarea în calitate de biofertilizant. La aplicarea biomasei de *N. gelatinosum* în doza de 12 kg/ha la cultivarea florii soarelui și porumbului în condiții de câmp sa atestat majorarea înălțimii plantelor cu 1-5 cm și a recoltei cu 30-400 kg/ha [8]. Biomasa acestei specii poate fi aplicată și în alte domenii cum ar fi: farmaceutică, cosmetologie, alimentație, protecția mediului și industrie.

Pentru obținerea biomasei de *Nostoc punctiforme* cu potențial de utilizare în practică, este necesar ca, în condiții de laborator, să se identifice metoda de cultivare, mediul nutritiv și condițiile optime (iluminare, agitare, temperatură etc.). Unul dintre principalii factori care determină acumularea biomasei cianobacteriene este selectarea mediului nutritiv optim de cultivare și, de aceea, ne-am propus ca, în prezentul studiu, să selectăm mediul nutritiv optim pentru *N. punctiforme* în scopul obținerii unei biomase majore, care ulterior va putea fi valorificată în diverse domenii.

MATERIAL ȘI METODĂ

Tulpina cianobacteriei *Nostoc gelatinosum* folosită în cercetări este din colecția LCȘ „Algologie V. Șalaru” a Universității de Stat din Moldova. Cianobacteria a fost cultivată, conform metodei periodice, pe medii nutritive specifice: M.S. Taha (M), Kratz și Myers (C), Detmer modificat (De), Drew (Dr) cu componența indicată în tab. 1.

Temperatura din laboratorul de cultivare pe parcursul experimentelor a fost de 25 °C, iluminarea continuă de 3000 lux, iar probele experimentale nu au fost agitate periodic. Experimentele au fost efectuate în baloane Erlenmeyer cu un volum de 100 ml, volumul mediului nutritiv fiind de 100 ml, iar cantitatea inoculului algal de 0,04 g (sau 0,4 g/l). Toate experimentele au fost realizate în trei repetări.

Tabelul 1. Componența mediilor nutritive utilizate la cultivarea cianobacteriei *N. gelatinosum*

Ingredientul	Mediul nutritiv			
	M	**C**	**De**	**Dr**
$MgSO_4*7H_2O$, g/l	0,25	0,25	0,55	0,20
$Ca(NO_3)_2*4H_2O$, g/l	-	-	1	-
K_2HPO_4, g/l	1,00	0,04	0,26	0,20
KCl, g/l	-	-	0,5	-
EDTA*2Na, g/l	-	-	0,2	-
$CaCl_2*6\ H_2O$, g/l	0,0238	0,0238	-	urme
$FeCl_3$	-	-	-	urme
$FeSO_4*7H_2O$, g/l	-	-	0,02	-
$Fe_2(SO_4)_3$, g/l	0,003	0,02	-	-
$Na_3C_6H_5O_7$, g/l	0,165	0,165	-	-
Microelemente, ml	1 ml	1 ml		-

Notă: 1. semul "-" indică lipsa ingredientului. 2. Componența microelmentelor pentru mediile nutritive M și C (g/l) - H_3BO_3 – 2,86; $MnCl_2*4H_2O$ – 1,81, $ZnSO_4*7H_2O$ – 0,222; $Na_3MoO_4*2H_2O$ – 0,252; $CuSO_4*5H_2O$ – 0,079. 3. Componența microelementelor pentru mediul D (g/l) - H_3BO_3 – 0,0029; $ZnCl_2$- 0,00011, $MnCl_2*4H_2O$ – 0,00181, $(NH_4)_6MoO_{24}*4H_2O$ – 0,000018; $CuSO_4*5H_2O$ – 0,00008.

Determinarea productivității cianobacteriei

Productivitatea algală a fost determinată utilizând metoda diferențială, aplicată astfel: inițial, printr-un filtru curat se filtrează, utilizând pompa de extragere în vid (model VE-115 SV), un volum de 50 ml apă distilată, după care filtrul se cântărește pe un cântar analitic (Axis). După cântărire, prin același filtru se filtrează (cu ajutorul pompei de extragere în vid) mediul nutritiv cu biomasa algală.

Productivitatea algală (P) a fost determinată utilizând următoarea formulă:

$$P=\frac{Mfb-Mfg*10}{1000}\ \textbf{(g/l)}$$

Unde:

Mfb – masa filtrului cu biomasa algală (mg);

Mfg – masa filtrului gol prin care sa trecut apa distilată (mg);

10 – pentru recalcularea volumului la 1l;

1000 – recalculul biomasei din mg în g.

Intensitatea creșterii cianobacteriei a fost stabilită conform următorilor indicatori:

- Viteza de creștere a populației algale (Vcp) a fost determinată conform metodei descrisă [9].

- Coeficientul de reproducere a algei (Cr) a fost stabilit după formula propusă [10].

A fost determinate modificările morfologice ale celulelor vegetative, lungimea și lățimea celulelor conform metodelor specifice cu utilizarea microscopului ”optica” [11].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Compoziția mediului nutritiv reprezintă un determinant major al creșterii și dezvoltării culturilor, influențând direct acumularea biomasei cianobacteriene și stabilitatea culturii în condiții axenice.

Tabelul 2. Productivitatea cianobacteriei *N. gelatinosum* cultivată pe diferite medii nutritive, g/l

Perioada analizată, zile	**Mediul nutritiv**			
	M	**C**	**De**	**Dr**
1	0,4±0,02	0,4±0,02	0,4±0,02	0,4±0,02
3	1,8±0,08	1,5±0,06	1,4±0,03	0,7±0,03
6	3,5±0,17	3,0±0,14	2,9±0,14	1,1±0,04
9	4,88±0,2	4,52±0,2	4,01±0,2	1,40±0,04
12	6,20±0,29	5,99±0,20	5,90±0,20	3,08±0,15

Rezultatele cantitative a biomasei cianobacteriei cercetate indică că cultura sa aflat în faza exponețială de creștere în toate variantele experimentate. Medii nutritive utilizate la cultivare care au în componența lor mai multe macro și microelemente au generat acumularea unei cantități mai înalte de biomasă. Acest fapt se argumentează prin prezența și satisfacerea necesarului de substanțe nutritive a celulelor populației de *N. gelatinosum* din mediul nutritive M, C și De, biomasa cianobacteriei obțiută pe aceste medii nutritive a variat între 5,90±0,20 - 6,20±0,29 g/l. Mediul nutritive Dr fiind dificitar în macro și microelemente a contribuit la acumularea unei cantității mici de biomasă (3,08±0,15 g/l) aceasta fiind mai potrivit pentru menținerea culturii în colecții unde nu este necesară

acumularea unei cantități majore de biomasă ci doar asigurarea existenței specie (Tab. 2). Ține de menționat că datorită specificului fiziologic al specie cercetate o mare parte din biomasă acesteia este constituită din apă ceea ce face ca rezultatele obținute să fie relativ mai mici în situația recalculului la biomasă absolut uscată însă rămîne respectabilă legitatea dependenței cantitative a biomasei cianobacteriei *N. gelatinosum* de sursa, componența, combinația și concentrația substanțelor nutritive necesare pentru nutriție și accelerarea procesului de creștere (Tab. 3).

Tabelul 3. Valorile indicatorilor de creștere a populație de *N. gelatinosum* cultivată pe diferite medii nutritive, g/l

Perioada analizată, zile	Mediul nutritiv utilizat la cultivare							
	M		C		De		Dr	
	μ	Cr	μ	Cr	μ	Cr	μ	Cr
3	0,70±0,03	4,50±0,19	0,55±0,02	3,75±0,15	0,50±0,01	3,50±0,07	0,15±0,01	1,75±0,07
6	0,57±0,02	1,94±0,07	0,50±0,02	2,00±0,09	0,50±0,02	2,07±0,10	0,13±0,00	1,57±0,06
9	0,46±0,02	1,39±0,06	0,51±0,02	1,51±0,07	0,37±0,02	1,38±0,07	0,10±0,00	1,27±0,04
12	0,44±0,02	1,27±0,06	0,49±0,02	1,32±0,04	0,63±0,02	1,47±0,05	0,56±0,03	2,20±0,11

Tabelul 3 prezintă valorile indicatorilor de creștere a populației de *Nostoc gelatinosum* cultivate pe mediile nutritive cercetate pe parcursul unei perioade de 12 zile. Cei doi parametri urmăriți au fost rata specifică de creștere (μ) și coeficientul de reproducere (Cr), exprimați în g/l. La începutul perioadei de cultivare, în ziua a 3-a, se observă că mediul M a susținut cea mai intensă activitate de multiplicare celulară, cu o valoare a vitezei de creștere a populației de 0,70 și a coeficientului de reproducere de 4,50 g/l, indicând un mediu nutritiv foarte eficient pentru inițierea dezvoltării. Mediile C și De au susținut, de asemenea, o creștere moderată, în timp ce în mediul Dr valorile ambilor indicatori au fost semnificativ mai mici, ceea ce sugerează o adaptare întârziată a culturii la acest mediu. Pe măsură ce cultura a evoluat în timp, în zilele 6 și 9, se constată o tendință generală de scădere a ratei μ, indicând o reducere a intensității diviziunii celulare. Cu toate acestea, valorile Cr au rămas relativ stabile, sugerând că biomasa s-a acumulat în continuare, posibil datorită extinderii dimensiunii celulelor sau acumulării compușilor intracelulari. În ziua a 12-a, se remarcă o inversare în cazul mediului Dr, unde, în ciuda unei rate μ inițial foarte reduse, coeficientul de reproducere a atins valoarea de 2,20 – cea mai mare dintre toate mediile la acest moment – sugerând o adaptare târzie, dar eficientă. Mediul De a

prezentat, de asemenea, o creștere notabilă a biomasei, cu o valoare a Cr de 1,47, în timp ce mediile M și C au înregistrat o ușoară reducere a performanței, comparativ cu valorile inițiale. Respectiv constatăm că pentru accelerarea vitezei de creștere și a reproducerii populației de *N. gelatinosum* cele mai preferențiale sunt mediile nutritive M și C.

Un alt indicator important care ne permit să diagnosticăm starea culturii și în deosebi starea fenologică sunt parametrii dimensionali care sunt caracteristici fundamentale și integrale ale specie.

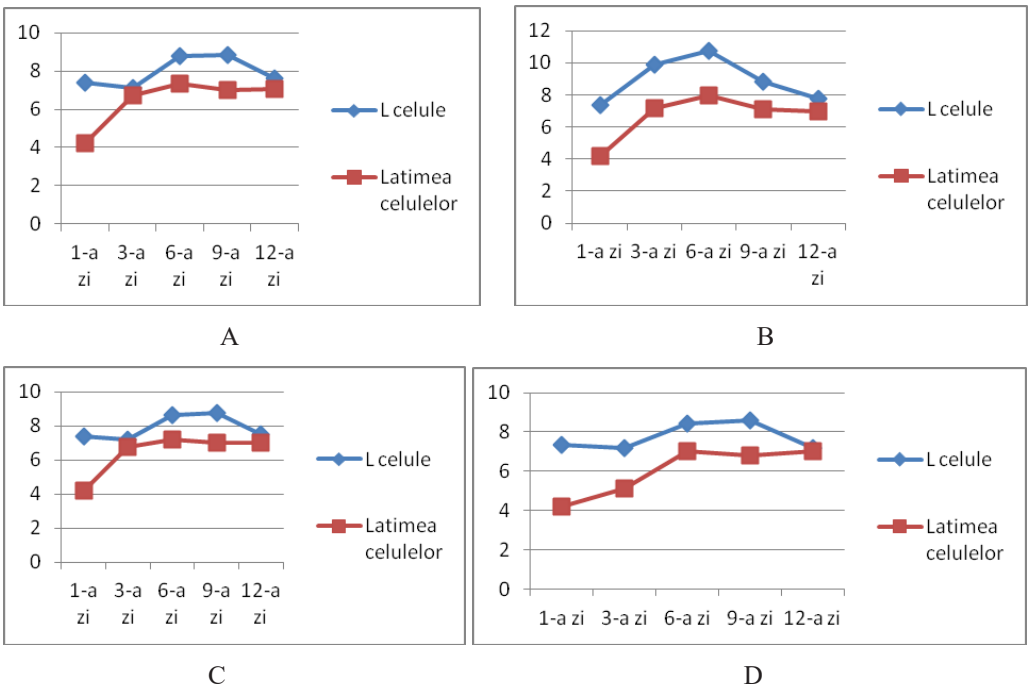


Fig. 1. Modificările morfologice ale celulelor vegetative ale cianobacteriei N. gelatinosum cultivate pe diferite medii nutritive (µm). (A – mediul nutritiv De; B – mediul nutritiv Dr; C – mediul nutritiv C; D – mediul nutritiv M)

Analiza modificărilor morfologice ale celulelor vegetative ale cianobacteriei *N. gelatinosum* cultivate pe diferite medii nutritive a scos în evidență că, la cultivarea pe mediul nutritiv Drew, se atestă dimensiuni mai mari ale celulelor vegetative, în special ale lungimii acestora, caracterizate prin valori mai mari cu 1–2,55 µm comparativ cu cultivarea pe celelalte medii nutritive studiate. Acest fapt indică prezumția că lipsa unor micro- și macroelemente din mediul nutritiv de cultivare a cianobacteriilor contribuie la apariția modificărilor morfologice, care se manifestă în special prin majorarea dimensiunilor celulelor vegetative.

Ține de menționat că, pe celelalte medii nutritive cercetate (M, C și De), se ates-

tă dimensiuni ale celulelor vegetative cu diferențe neesențiale (de până la 1 μm). De asemenea, pe toate mediile nutritive cercetate, populația de *N. gelatinosum* își menține etapele succesive ale ciclului vegetal, însă viteza de derulare a acestor cicluri diferă în funcție de mediul nutritiv aplicat la cultivare. Pe mediul Drew, aceasta s-a manifestat mult mai lent, ceea ce ne permite să constatăm că nivelul de asigurare cu substanțe nutritive influențează dezvoltarea individuală a celulelor vegetative și desfășurarea ciclului vegetativ. Ține de menționat că, în unele zile de analiză, pe toate mediile nutritive examinate, lățimea celulelor a prezentat dimensiuni mai mari decât cele specifice speciei, depistate în natură și indicate în determinatoarele vechi de specialitate. Majorarea lățimii celulelor nu a cauzat apariția unor anomalii morfologice, acest fapt fiind cauzat, cel mai probabil, de efectele cultivării speciei în condiții de laborator, care generează, în multe cazuri, devieri dimensionale comparativ cu cele din mediul natural.

Indiferent de compoziția mediului nutritiv de cultivare experimentat, s-a constatat că dimensiunile celulelor vegetative ale cianobacteriei *N. gelatinosum* sunt autoreglabile: ele cresc până la o anumită limită, apoi descresc, proces care se repetă continuu. Acest fenomen respectă legitățile biologice ale creșterii dimensionale specifice practic tuturor organismelor vii, fiind strâns legat de ciclul vital și, în special, de reproducerea celulelor.

CONCLUZII

Creșterea populației de *N. gelatinosum* este direct dependentă de compoziția mediului nutritiv, mediile M, C și De favorizând acumularea unor cantități semnificative de biomasă (5,90 ± 0,20–6,20 ± 0,29 g/L) în 12 zile, concomitent cu accelerarea ratei de creștere și a coeficientului de reproducere. Mediul Drew, deficitar în macro- și microelemente, reduce randamentul biomasei (3,08 ± 0,15 g/L), însă induce o creștere semnificativă a dimensiunii celulelor vegetative (lungime +1–2,55 μm față de celelalte medii), fără a genera anomalii morfologice. În toate condițiile experimentale, celulele vegetative ale *N. gelatinosum* își autoreglează dimensiunile, creșterile și descreșterile periodice respectă legitățile biologice de dezvoltare dimensională atestând versatilitatea acestor medii atât pentru producția de biomasă, cât și pentru menținerea culturilor în colecții.

REFERINȚE:

1. ЕЛЕНКИН, А. *Синезеленые водоросли СССР, специальная часть 1.* Из. Акад. Наук СССР, 1938. 984 с.
2. KUMAR, S., KANT, R. Diversity of the cyanobacterial genus *Nostoc vaucher* of grassland biotope, meerut, uttar pradesh, bharat. În: *Plant Archives* Vol. 23, No. 2, 2023. p. 320-326, https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2023.v23.no2.055
3. DODDS, W., GUDDER, D., MOLLENHAUER, D. The ecology of Nostoc. În: *Journal of Phycology* 31(1), 1995. p. 2–18.

4. TEMINA, M., REZANKOVA, H., REZANKA, T., DEMBITSKY, V. Diversity of the fatty acids of the Nostoc species and their statistical analysis. În*: Microbiological research* 162(4), 2007. p. 308–321.
5. JANDACEK, R. Linoleic acid: a nutritional quandary. În: *Healthcare* 5 (2): 2017. p. 25.
6. LIAU, M., KIM, J., & FRUEHAUF, J. Arachidonic acid and its metabolites as surveillance differentiation inducers to protect healthy people from becoming cancer patients. În: *Clin Pharmacol Toxicol Res* 4(1), 2021. p. 7-10.
7. ROACH, L., RUSSELL, K., LAMBERT, K., HOLT, J., MEYER, B. Polyunsaturated fatty acid food frequency questionnaire validation in people with end stage renal disease on dialysis. În: *Nutrition & Dietetics* 77(1): 2020, p. 131-138.
8. DOBROJAN, S., JIGĂU, GH., DOBROJAN, G., CIOLACU, T., MELNIC, CR. The premises for using the biomass of the cyanobacteria Nostoc gelatinosum (Schousb) Elenk. as a biofertilizer. În: *Natural sciences in the dialogue of generations,* 2023. p. 94. ISBN 978-9975-3430-9-1.
9. ПЕРТ, С. *Основы культивирования микроорганизмов.* Москва, Мир, 1978. 1-33 с.
10. ВЛАДИМИРОВА, М., СЕМЕНЕНКО, В. *Интенсивная культура одноклеточных водорослей.* Москва, Изд. АН СССР, 1962, 1-58 с.
11. МИНИЧЕВА, Г., ЗОТОВ, А., КОСЕНКО, М. *Методические рекомендации по определению морфофункциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности.* În: Одесса, 2003, 32 с.

Nota bene: *articolul este realizat în cadrul proiectului tineret: „Valorificarea cianobacteriilor azot fixatoare din genul Nostoc la cultivarea durabilă a plantelor medicinale” cifrul proiectului 23.70105.7007.07T*

INFLUENȚA ALGELOR VERZI ASUPRA GERMINĂRII SEMINȚELOR UNOR PLANTE DE CULTURĂ

THE INFLUENCE OF GREEN ALGAE ON THE GERMINATION OF SEED OF SOME CROP PLANTS

CZU: 582.263:631.547.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.07**

Sergiu DOBROJAN
ORCID: 0000-0003-0040-5836
E-mail: sergiudobrojan84@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Gheorghe JIGĂU
ORCID: 0000-0002-4778-2105
E-mail: gheorghe.jigau@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina DOBROJAN
ORCID: 0009-0003-1629-2220
E-mail: galinadobrojan87@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The study investigates the effects of the biostimulator "ALGE EN-1", based on green algae, on the germination and initial development of sunflower and corn plants. The application of the product led to an increase in the germination faculty by 4.91% in sunflower and 1.67% in corn. A 14.28% elongation of the roots was observed in sunflower, while in corn, the root length decreased by 7.58%. The height of the seedlings was significantly stimulated, registering increases of over 16% in both crops. The results support the efficiency of the preparation "ALGE EN-1" in promoting the early phases of development, with potential application in sustainable agriculture.*

Keywords: *algae EN-1, corn, green algae, germination, sunflower.*

INTRODUCERE

Algele verzi reprezintă o sursă importantă de biostimulatori pentru agricultură, fapt datorat în principal conținutului ridicat de substanțe biologic active din biomasă, printre care se numără substanțele azotoase – 40-45%, glucidele – 30-40%, lipidele – 1-10% și alte substanțe – 1-10%, în special fitohormonii, (Auxine, Citochinine, Gibereline, Acid abscisic, Acid lunularic, Acid jasmonic, Poliamine, Brassinosteroizi) [1, 2].

Cercetările arată că, atunci când biomasa de alge verzi este adăugată în sol, valoarea nutritivă a cerealelor crește de cca. 1,5 ori. Acest lucru conduce la o creștere a bioma-

sei, la intensificarea fixării azotului și oxigenului atmosferic și la reducerea dezvoltării bacteriilor patogene care afectează culturile agricole [3].

Cea mai practică și arhicunoscută algă verde în acest sens este specia *Chlorella vulgaris*, care a fost utilizată pentru tratarea mai multor tipuri de semințe. Astfel, tratamentul semințelor de grâu și orz cu suspensia de *Chlorella sp*. timp de 3, 6, 9 și 12 zile a avut ca efect majorarea lungimii rădăcinilor și a lăstarilor plantulelor [4].

Aplicarea preparatului Chlorella Start în doză de 1:4 pentru tratarea semințelor unor soiuri de semințe de grâu de toamnă s-a realizat prin înmuierea acestora timp de 10-12 ore înainte de semănat. Astfel, tratamentul semințelor cu acest preparat a contribuit la germinarea a 99,5–100% din semințele cercetate, fiind cu 0,5–4,5% mai mare comparativ cu grupa de control. Totodată, tratarea semințelor cu preparatul algal a stimulat creșterea rădăcinilor plantelor, care au fost cu 6,9%, 23,1% și respectiv 40,6% mai mari decât în varianta de control [5].

Aplicarea suspensiei de *Chlorella* pentru germinarea semințelor de orz, precum și ca fertilizant pentru sol și foliar, a dus la sporirea semnificativă a ratei de germinare a semințelor (95% în varianta cu aplicarea algei, comparativ cu 30% în varianta de control), la o creștere a înălțimii culturii cu 7,5 cm și a sistemului radicular cu 2,8 cm, precum și la o dezvoltare puternică a rădăcinilor adventive [6].

Tratarea semințelor de grâu și orz pentru bere cu suspensii de alge *Chlorella vulgaris Beijerinck* și *Arthrospira platensis* a dus la stimularea energiei de germinare și a viabilității semințelor (în medie cu 5–7%), la o reducere ușoară (până la 2%) a leziunilor de mucegai la semințele de grâu și la lipsa micromicetelor la cele de orz [7].

Aplicarea suspensiei de *Chlorella* ca stimulator al germinării semințelor de hrișcă și ca biofertilizant aplicat pe sol și foliar a generat rezultate semnificative. Astfel, în variantele cu administrarea algei s-a constatat o sporire a înălțimii plantelor, a fructificării și a caracteristicilor morfologice ale culturii, stabilindu-se că cea mai optimă metodă este aplicarea combinată, atât pe sol, cât și foliar [8].

Tratarea semințelor de spanac înainte de semănat cu biomasa algelor *Chlorococcum* sp., *Micractinium pusillum*, *Scenedesmus* sp. și *Chlorella* sp. a îmbunătățit germinarea semințelor de până la 1,7 ori, respectiv 1,6 ori, comparativ cu apa și extractul de alge marine. Răsărirea cotiledonilor verzi s-a îmbunătățit de până la 2 ori (în ziua 6), iar biomasa răsadurilor a crescut de până la 2,1 ori, respectiv 1,9 ori (în ziua 9), în comparație cu apa și, respectiv, extractul de alge marine. Cuantificarea fitohormonilor – citokinine (transzeatin, DHZR, tZMP, iP, iPA, iPAMP), gibereline (GA1, GA3, GA4, GA20, GA29), auxină (IAA) și acid abscisic (ABA) – a confirmat faptul că cele patru tulpini microalgale au produs un efect biostimulator semnificativ [9].

Utilizarea algei *Chlorella vulgaris* pentru tratarea tuberculilor de cartof și a solului a condus la accelerarea răsăririi culturii cu 7 zile și la creșterea randamentului acesteia cu 42–47,7%, comparativ cu varianta de control în care nu a fost aplicată alga [10].

Există și multe alte specii de alge verzi care sunt utilizate în tratarea semințelor diverselor plante de cultură înainte de semănat, manifestând un efect biostimulator

pronunțat. De aceea, este important să fie studiat efectul aplicării noilor preparate algale, constituite din alge verzi, asupra semințelor unor plante de cultură. În acest context, am relizat cercetări privind evaluarea influenței preparatului algal „ALGE EN-1" asupra germinării semințelor de floarea-soarelui și porumb.

MATERIALE ȘI METODE

În cadrul experimentelor a fost utilizat preparatul "ALGE EN-1" care este un produs obținut din alge verzi edafice, în stare vie, având o culoare verde intens. Este 100% organic, netoxic pentru om, animale și mediu și este accesibil pentru aplicarea în agricultura sustenabilă. Preparatul are următoarea compoziție (la biomasă uscată): proteine: 35-50%; hidrati de carbon: 20-35%; Lipide: 8-12%; Vitamine (A, D, B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12, C, E, K); Minerale (Calciu (Ca): 2-4,7%; Fosfor (P): 2,0-2,5%; Fier (Fe): 2-4,5%; Magneziu (Mg): 0,1-0,45%; Zinc (Zn): 0,02-0,048%; Cobalt (Co): 0,005-0,009%). Semințele experimentale de floarea-soarelui (soiul LG 56.63 CL) au tratate preventiv cu fungicide chimice iar cele de porumb (Soi 458) au fost tratate preventive cu insecticidal "Acetamiprid". Au fost realizate experimente în condiții de laborator, la o temperatură de 19–20°C, cu iluminare naturală. Au fost testate două variante: Varianta 1 (martor) – semințele au fost stropite cu apă distilată; Varianta 2 – semințele au fost stropite intens cu preparatul „ALGE EN-1". În fiecare variantă au fost utilizate câte 100 de semințe, în trei repetări. După tratare, semințele au fost semănate în casete cu turbă, la o adâncime de 4 cm în cazul florii soarelui și 5 cm la porumb. Probele au fost ulterior umectate cu apă distilată în cantități egale, pentru menținerea umidității optime necesare germinării.

În cadrul cercetărilor au fost determinați următorii indicatori:

- *Facultatea germinativă a semințelor* (FG), conform formulei: FG = Nsg/Nts * 100, unde Nsg – numărul semințelor germinate; Nts – numărul total de semințe;
- *Alungirea relativă a rădăcinii* (ARR) calculată, la cea de a 7 zi de germinare, conform formulei: ARR= (Le/Lc)*100, unde: Le - lungimea rădăcinii în varianta experimentată; Lc - lungimea rădăcinii în varianta de control;
- *Înălțimea părți aeriene* – realizată prin măsurări directe la cea de a 15-a zi de la plantare.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Stimularea germinării semințelor este esențială pentru o cultură agricolă sănătoasă și productivă. Pentru plante economice precum porumbul și floarea-soarelui, optimizarea germinării este de o importanță esențială. Aceasta asigură un start vegetativ viguros, uniformitate crescută a plantelor și o dezvoltare timpurie corespunzătoare. În contextul agriculturii moderne, cu presiuni climatice și biologice intense, metodele de stimulare a germinării, prin tratamente cu biostimulatori, oferă un avantaj competitiv semnificativ. Prin activarea proceselor fiziologice în faza incipientă, stimularea germinării sporește

rata de răsărire, reduce timpul de emergență și, în unele cazuri, crește toleranța plantulelor la stres. Plantele care germinează rapid și uniform valorifică mai bine resursele nutritive din sol, rezultând o creștere a randamentului producției. La noi în țară, practic lipsesc preparate algale autohtone cu aplicabilitate în stimularea germinării semințelor. De aceea, este important să testăm efectul preparatelor algale autohtone asupra germinării semințelor celor mai cultivate culturi din Republica Moldova în vederea evaluării efectului acestora și creării premizelor de utilizare lărgită în practică.

Tabelul 1. Facultatea germinativă a semințelor de floarea soarelui și porumb tratate cu biostimulatorul ”ALGE EN-1”, %

Variantele experimentate	Culturile experimentate	
	Floarea soarelui	**Porumb**
Control	82,60±0,40	88,66±0,33
ALGE EN-1	87,51±0,35	90,33±0,32

Rezultatele obținute, prezentate în Tabelul 1, ne permit să constatăm că preparatul „ALGE EN-1” manifestă un efect stimulator asupra germinării semințelor, atât în cazul culturii de floarea-soarelui, cât și al porumbului. Astfel, dacă în varianta martor facultatea germinativă a semințelor de floarea-soarelui a fost de 82,60 ± 0,40%, în varianta tratată cu biostimulatorul algal „ALGE EN-1” aceasta a atins un nivel superior, de 87,51 ± 0,35%. Aceasta corespunde unei creșteri relative de aproximativ 4,91% a numărului de semințe germinate.

Pentru cultura porumbului, facultatea germinativă în varianta martor a fost de 88,66 ± 0,33%, iar în cea tratată cu preparatul algal – 90,33 ± 0,32%, ceea ce reprezintă o îmbunătățire de aproximativ 1,67%. Aceste creșteri evidențiază efectul benefic al tratamentului algal, în special asupra semințelor de floarea-soarelui, indicând o sensibilitate mai ridicată a acestei culturi la acțiunea biostimulatorului. Prin urmare, aplicarea produsului „ALGE EN-1” poate constitui o măsură eficientă pentru îmbunătățirea germinației semințelor la culturile analizate.

Tabelul 2. Alungirea relativă a rădăcinilor la floarea-soarelui și porumb în urma tratamentului cu preparatul „ALGE EN-1”,%

Culturile experimentate	
Floarea soarelui	**Porumb**
114,28±3,43	92,42±4,30

Tratarea semințelor plantelor analizate cu preparatul „ALGE EN-1” a evidențiat diferențe notabile în funcție de specie. La cultura de floarea-soarelui, alungirea relativă a rădăcinilor a fost de 114,28 ± 3,43%, ceea ce corespunde unei creșteri de aproximativ 14,28% față de martor, confirmând sensibilitatea ridicată a acestei culturi la tratamentul

aplicat. În cazul porumbului, s-a înregistrat o valoare de 92,42 ± 4,30%, ceea ce sugerează o ușoară inhibare sau o reacție radiculară mai redusă în comparație cu martorul (Tab. 2). Este important de menționat că, în varianta tratată, rădăcinile de porumb prezentau o îngroșare și o ramificare accentuată, fapt ce indică un potențial de dezvoltare radiculară eficientă pe termen lung, chiar dacă alungirea relativă a fost mai scăzută.

Aceste rezultate subliniază caracterul specie-dependent al răspunsului la aplicarea biostimulatorului „ALGE EN-1", cu efecte mai pronunțate asupra floarea-soarelui și mai moderate asupra porumbului, aspect esențial de luat în considerare pentru utilizarea practică a produsului în agricultură.

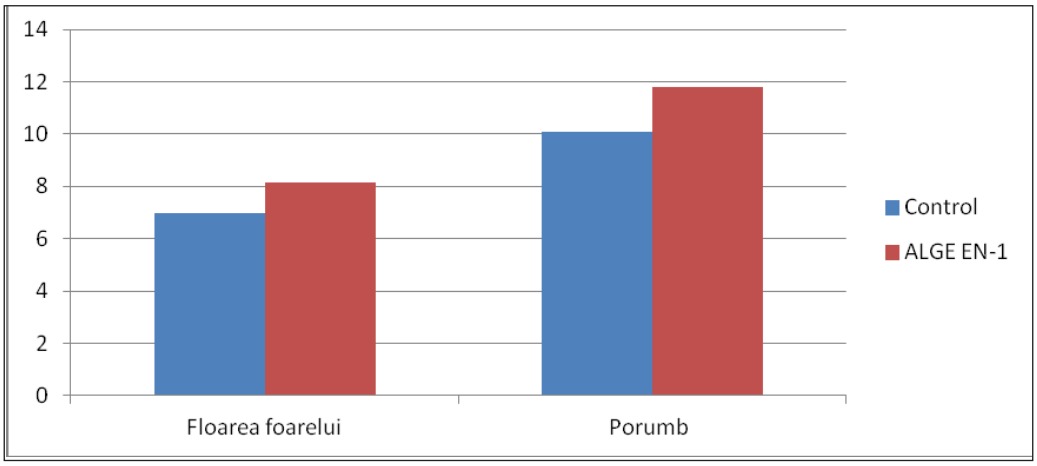


Fig. 1. Înălțimea plantulelor de floarea-soarelui și porumb tratate cu preparatul „ALGE EN-1", cm

Rezultatele obținute evidențiază o diferențiere clară între cele două culturi ca răspuns la aplicarea preparatului „ALGE EN-1". În cazul floarea-soarelui, s-a înregistrat o creștere semnificativă a înălțimii plantulelor în varianta tratată, cu 16,24 ± 0,72% comparativ cu martorul, ceea ce indică eficiența biostimulatorului în stimularea creșterii vegetative timpurii. În cazul culturii de porumb, tratamentul a avut, de asemenea, un efect pozitiv, determinând o creștere a înălțimii plantulelor cu 16,83 ± 0,74% față de lotul de control (fig. 1). Aceste date susțin ipoteza că „ALGE EN-1" contribuie semnificativ la optimizarea fazei de răsărire și dezvoltare inițială a plantelor, fiind deosebit de eficient în cazul speciilor sensibile la tratamentul cu biostimulatori.

Rezultatele obținute sunt generate de efectul conținutului de substanțe biologic active, cu rol stimulator asupra germinării semințelor plantelor cercetate și a creșterii culturii în faza incipientă. Aceste substanțe se regăsesc în suspensia preparatului algal studiat și permit evidențierea efectului benefic al acestuia asupra porumbului și floriisoarelui.

CONCLUZII

Cercetările realizate ne permit să constatăm că aplicarea biostimulatorului pe bază de alge verzi „ALGE EN-1" a avut un efect pozitiv semnificativ asupra germinării, dezvoltării rădăcinilor și înălțimii plantulelor la culturile de floarea-soarelui și porumb. Tratarea semințelor cu acest biostimulator a determinat o creștere a facultății germinative cu 4,91% la floarea-soarelui și cu 1,67% la porumb. În ceea ce privește dezvoltarea radiculară, s-a observat o alungire relativă a rădăcinilor de 14,28% la floarea-soarelui, în timp ce la porumb s-a înregistrat o reducere de 7,58%. De asemenea, a fost evidențiat un efect stimulator asupra înălțimii plantelor, cu o creștere de 16,24 ± 0,72% la floarea-soarelui și 16,83 ± 0,74% la porumb.

Aceste rezultate susțin utilizarea preparatului „ALGE EN-1" ca o soluție eficientă pentru stimularea germinării și dezvoltării inițiale a plantelor, contribuind astfel la creșterea potențialului productiv al culturilor agricole analizate.

REFERINȚE:

1. DOBROJAN, S., ȘALARU, V., ȘALARU, V., MELNIC, V., DOBROJAN, G. *Cultivarea algelor.* Chișinău: CEP USM, 2016, 171 p.
2. DOBROJAN, S., JIGĂU, GH., DOBROJAN, G., MELNIC, CR., CIOLACU, T., CIOBANU, Eu. Perspectiva utilizării algelor în tratarea seminţelor de plante. *În: Studia Universitatis. Seria Ştiinţe ale Educaţiei,* 2023, nr. 1(171), p. 139-145.
3. БОГДАНОВ, Н. Хлорелла, расширение возможностей животноводства. *Главный зоотехник,* 2004, № 5, с. 3-5.
4. ODGEREL, B., TSERENDULAM, D. Effect of Chlorella as a biofertilizer on germination of wheat and barley grains. *Шинжлэх Ухааны Академийн Мэдээ,* 2016, №04 (220), p. 26-31. DOI: http://dx.doi.org/10.5564/pmas.v56i4.839
5. КОРХОВА, М., РОЖОК, О., ПЕТРЕНКО, С., МИКОЛАЙЧУК, В. Влияние биопрепаратов на прорастание и посевные качества семян сортов пшеницы озимой. *Материалы Международной конференции, Республика Молдова, Бельцы,* 2021, с. 44-52.
6. БАЛМАГАМБЕТОВА, Ж. Эффективность использования суспензии хлореллы в растениеводстве. *Материалы международной студенческой научной конференции,* 2017, с. 150-152.
7. БЕЛОКУРОВА, Е., ПАНКИНА, И., ВОЛКОВА, С. Using Chlorella and Spirulina microalgaesuspensions for biostimulation of grain seeds germination. *Агрофизика,* 2025, doi:10.25695/AGRPH. 2025.01.04.
8. ЗЫКИН, Д.А. Влияние обработки культурой хлореллы на морфологию и урожайность гречихи сорта дикуль. *Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство*, 2023, с. 1-6.

9. RUPAWALLA, Z., SHAW, L., ROSS, I., SCHMIDT, S., HANKAMER, B., WOLF, J. Germination screen for microalgae-generated plant growth biostimulants. *Algal Research,* Vol. 66, 2022, https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102784.
10. ЧМУЛЕВ, И. Исследования по изучению влияния суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* Bin на сорта и сортообразцы картофеля, выполненные впервые в условиях магаданской области. *Международный научно-исследовательский журнал.* № 1 (127), https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.31

Nota bene: *articolul este realizat în cadrul proiectului „Elaborarea cadrului științific aplicativ de modernizare a tehnologiilor de asigurare sustenabilă a sănătății solurilor din plantațiile pepiniere în condiții de schimbare a climei” cu cifrul 23.70105.5107.06*

ANALIZA EXPRESIEI GENEI *NPR1* LA UNELE GENOTIPURI DE FLOAREA-SOARELUI CU REZISTENȚĂ DIFERITĂ LA *Orobanche cumana*

ANALYSIS OF *NPR1* GENE EXPRESSION IN SOME SUNFLOWER GENOTYPES WITH DIFFERENT RESISTANCE TO *Orobanche cumana*

CZU: 632.5:633.854.78 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.08**

Maria DUCA
ORCID: 0000-0002-5855-5194
E-mail: maria.duca@usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Steliana CLAPCO
ORCID: 0000-0001-7147-2740
E-mail: steliana.clapco@usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Angela PORT
ORCID: 0000-0003-3994-8918
E-mail: angela.port@usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ana MUTU
ORCID: 0000-0001-8603-142X
E-mail: ana.mutu@usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Broomrape (Orobanche cumana Wallr.) is a root holoparasite that severely affects sunflower crops, significantly reducing yield in the majority of sunflower-growing countries. Genetic improvement through the development of resistant genotypes remains one of the most effective and sustainable control strategies. This study analyzed the relative expression of the NPR1 gene, a key regulator of systemic acquired resistance (SAR), in three sunflower hybrids with different resistance levels during the pre-attachment stage of host–parasite interaction. The expression profile of the NPR1 gene remained relatively constant during the first 12 hours post-*

inoculation, both under control conditions and in the presence of germinated O. cumana seeds in all three hybrids studied. In contrast, at 24 hours post-inoculation, strongly reduced levels were found in the sensitive genotype.

Keywords: ge*ne expression, Helianthus annuus, NPR1, Orobanche cumana, parasite resistance.*

INTRODUCERE

Lupoaia (*Orobanche cumana* Wallr.) reprezintă un factor major de limitare a producției de floarea-soarelui în numeroase țări cultivatoare. Fiind un holoparazit lipsit de clorofilă, aceasta extrage substanțele nutritive din organismul plantei gazdă, la nivelul rădăcinilor, ceea ce duce la pierderi semnificative de recoltă [1]. Ameliorarea genetică în vederea obținerii unor genotipuri rezistente rămâne a fi o soluție eficientă și durabilă.

În funcție de faza de dezvoltare a patosistemului, au fost descrise trei tipuri majore de rezistență: rezistența la faza de *pre-atașare*, principalele mecanisme defensive constând în exudarea redusă a stimulilor de germinare, secretarea inhibitorilor de germinare sau/și de dezvoltare a radiculei, rezistența *post-atașament/pre-haustorială*, caracterizată prin dezvoltarea unor bariere fizice, precum lignificarea, suberizarea, sau acumularea de caloză și rezistența *post-haustorială,* exprimată prin secreția de substanțe toxice de natură fenolică care compromit formarea conexiunii vasculare gazdă-parazit [2].

Rezistența este considerată a fi reglată atât de mecanisme poligenice cantitative, cât și calitative. De asemenea, studiile anterioare au relevat că rezistența poate fi indusă și prin activarea răspunsului sistemic dobândit (RSD), declanșat, de regulă, la producerea de acid salicilic (AS) [3]. Creșterea nivelului de AS nu doar susține rezistența bazală la locul infecției și supraviețuirea celulelor adiacente, dar este esențială inclusiv pentru conferirea unei imunități de lungă durată și cu spectru larg care protejează planta împotriva infecțiilor secundare provocate de o gamă variată de patogeni. Aceste răspunsuri biologice se caracterizează prin reglarea coordonată a expresiei unui număr mare de gene de apărare (PR- *pathogenesis related*) [4, 5]. Activarea acestor mecanisme necesită prezența proteinei NPR1 (*nonexpressor of pathogenesis-related genes 1*) – o proteină-cheie implicată în răspunsul plantelor la atacul patogenilor, a cărei activitate este esențială pentru instalarea rezistenței sistemice dobândite.

În cadrul unor studii moleculare anterioare, care au inclus o serie de hibrizi și linii de floarea-soarelui cu niveluri diferite de rezistență la rizoparazitul lupoaia, în fazele tardive de dezvoltare a patosistemului *Orobanche cumana – Helianthus annuus,* a fost formulată ipoteza potrivit căreia gena *NPR1* are un rol esențial în inițierea răspunsului de tip RSD la faze incipiente ale contactului gazdă-parazit [6, 7]. Astfel, s-a constatat că supraexpresia genei *AtNPR1* în *Arabidopsis thaliana* a sporit rezistența plantei față de *Pseudomonas syringae* și *Peronospora parasitica* [8]. Nivelul de expresie ale genei *NPR1* la trestia de zahăr a crescut semnificativ în urma infecției cu micromiceta *Usti-*

lago scitaminea, atingând valori maxime peste 24 de ore după inoculare [9]. Rezultate similare au fost obținute la orez [10], grâul infectat cu *Blumeria graminnis f. sp. tritici,* valorile expresiei fiind de cca 3.5 ori mai înalte față de martor în primele 6-24 ore după inoculare [11].

De asemenea, reacția hipersensibilă a florii-soarelui în cazul infecției cu *Plasmopara halstedii,* agentul cauzal al manei, a fost asociată cu activarea timpurie și locală a genei *NPR1* [12]. Aceste rezultate indică faptul că *NPR1* reprezintă un factor genetic promițător pentru ameliorarea culturilor agricole în vederea sporirii rezistenței la boli prin transgeneză.

În contextul celor expuse, studiul de față își propune să investigheze modificările în nivelul de expresie a genei *NPR1* ca răspuns al florii-soarelui la infestarea cu *Orobanche cumana* Wallr., prin analiza cantitativă a transcripților la trei genotipuri cu niveluri diferite de rezistență, la patru intervale de timp (2, 6, 12 și 24 ore), atât în condiții de control (absența parazitului), cât și în prezența holoparazitului.

MATERIALE ȘI METODE

Material biologic. În studiu au fost incluși trei hibrizi de floarea-soarelui (*Helianthus annuus* L.), caracterizați prin comportament distinct față de patogenul *Orobanche cumana*. Doi dintre aceștia, Favorit (purtător al genei *Or6* – rezistent la rasa F) și P64LE20 (rezistent la rasa G de lupoaie), prezintă toleranță la infestarea cu lupoaie, iar Performer este un hibrid susceptibil, lipsit de gene de rezistență. Semințele de floarea-soarelui au fost oferite de către colegii din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare Agricolă Fundulea (România). Semințele au fost germinate în cutii Petri, pe un strat de perlit steril, iar plantele au fost crescute până la stadiul de două frunzulițe adevărate. Stresul biotic a fost indus artificial prin introducerea în mediu a semințelor de *O. cumana* germinate în prealabil pe exudat provenit de la un genotip sensibil.

Probele de țesut radicular au fost recoltate de la plantele crescute în două regimuri experimentale: (i) în prezența semințelor germinate de *O. cumana* (condiții infecțioase simulate) și (ii) în absența acestora (martor). Prelevarea s-a realizat la patru intervale de timp: 2, 6, 12 și 24 de ore, ceea ce corespunde fazei timpurii a interacțiunii plantei cu patogenul.

Izolarea ARN-ului și sinteza ADNc. ARN-ul total a fost extras din țesuturi radiculare congelate în azot lichid, utilizând reactivul TRI-zol (Applied Biosystems), conform protocolului standard. Calitatea și cantitatea ARN-ului a fost evaluată spectrofotometric (la lungimea de undă 260 și 280 nm) și prin migrare pe gel de agaroză 1%. Revers-transcripția s-a realizat cu ajutorul kitului RevertAid RT, folosind primeri Oligo(dT)18 și hexameri aleatorii conform instrucțiunilor producătorului (Fermentas).

Analiza expresiei genice prin Real-Time PCR. Expresia relativă a genei *NPR1* a fost determinată prin PCR în timp real, folosind sistemul QuantStudio® 5 (Appli-

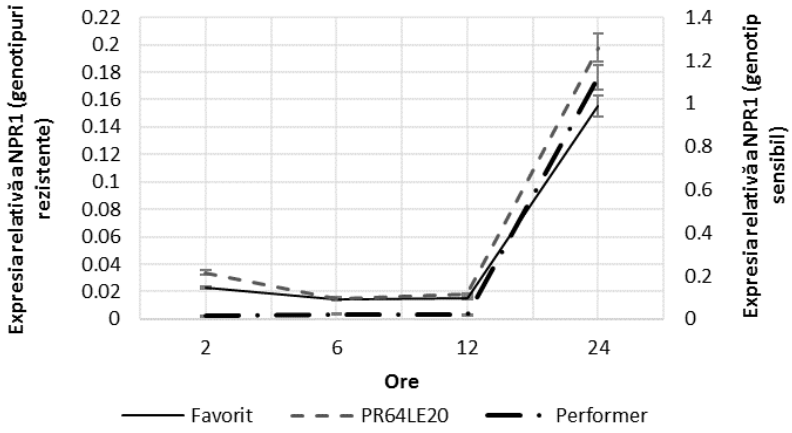
ed Biosystems). Protocolul de amplificare a inclus etapele: 95°C timp de 10 minute, urmate de 5 cicluri (95°C – 15 s; 64°C – 20 s) și apoi 40 cicluri (95°C – 15 s; 60°C – 40 s). Pentru reacțiile de amplificare a fost utilizat Maxima SYBR Green/ROX PCR (Fermentas), primeri specifici (0,4 µM) și 2 µl de ADNc.

Secvențele nucleotidice cunoscute la *Helianthus annuus*, corespunzătoare genei *NPR1* (GenBank: AY667500.1) și genei de referință - actina (AF282624.1), au fost utilizate pentru proiectarea primerilor specifici. Primerii pentru gena de interes au fost F: agacgaatccaaaatcacgtt, R: gattaacatccgcacggttt. Calculul nivelului de expresie relativă a fost realizat conform metodei $2^{\wedge-\Delta\Delta CT}$ descrise de Livak și Schmittgen [13].

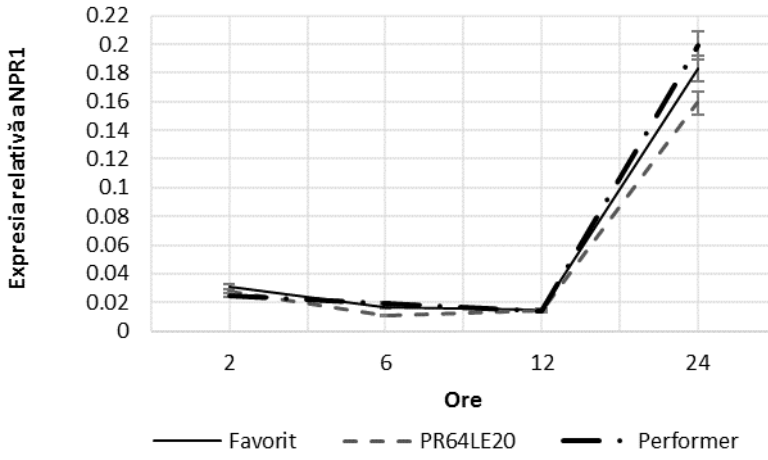
Pentru estimarea diferențelor semnificative statistic s-a utilizat testul *t* standard ($p \leq 0,05$). Modificările expresiei cu valori ale *Fold Change (FC)* mai mari sau egale cu 1,5 sau mai mici de -1,5 au fost considerate semnificative.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Profilul de expresie a genei *NPR1* este similar în probele martor și cele cultivate în prezența semințelor de lupoaie germinate, prezentând valori relativ constante în toate genotipurile în primele 12 ore și o creștere peste 24 ore, ușoară – în cazul hibrizilor rezistenți și pronunțată – la genotipul sensibil (Figura 1). Astfel, în cazul martorului cantitatea de transcripți ai genei *NPR1* a variat între 0.014 și 0.034 până la 12 ore, crescând ulterior până la 0.155 la Favorit, 0.198 la PR64LE20 și 1.121 la Performer. În plantele infestate, nivelul expresiei genei NPR1 a variat între 0.031 și 0.14 în primele 12 ore post-inoculare, crescând ușor la 24 de ore, când s-au înregistrat valori similare pentru toate cele trei genotipuri analizate: 0.183 la Favorit, 0.159 la PR64LE20 și 0.199 la Performer.



A.



B.

Figura 1. Expresia relativă a genei *NPR1* la diferite genotipuri de floarea-soarelui cultivate în absența (A) și în prezența parazitului *O. cumana* Wallr. (B)

Atât în cazul variantei martor, cât și în cea experimentală diferențele dintre cantitatea de transcripți ai genei *NPR1* acumulați pe parcursul perioadei testate nu diferă semnificativ între hibrizi, fenomen ce poate fi explicat prin faptul că la fazele incipiente de contact gazdă-parazit, expresia genei nu este modificată, fiind, posibil, inițial mobilizate proteinele NPR1 din citoplasmă. Se cunoaște că gena *NPR1* este expresată constitutiv în plante, iar proteinele sintetizate, în absența infecției sau a tratamentului cu acid salicilic sau cu analogul său acidul 2,6-dicloroisonicotinic, se acumulează în citoplasmă. Astfel, la *Arabidopsis* s-a stabilit că transcripțiii genei *NPR1* se acumulează constitutiv la un nivel bazal scăzut, iar în urma infecției cu un agent patogen sau a tratamentului cu acid salicilic acest nivel poate fi dublat sau chiar triplat [14]. Proteina NPR1 se acumulează în citoplasmă sub formă oligomerizată, menținută prin legături disulfidice. Drept urmare a infecției nivelul AS și statutul redox al celulei se modifică, ceea ce determină ruperea legăturilor disulfidice și permite translocarea NPR1 în nucleu, unde aceasta contribuie la activarea expresiei genelor implicate în răspunsul de apărare, inducând, în final, RSD [15].

Odată cu inducerea rezistenței sistemice dobândite, este necesară și activarea proteinei NPR1, deoarece exprimarea constitutivă a *NPR1* în absența unui factor inductor nu conduce la exprimarea constitutivă a genelor PR (*pathogenesis-related*) și nici la instalarea rezistenței.

Raportarea valorilor expresiei genei *NPR1* din probele co-cultivate cu *Orobanche cumana* la cele din martor a evidențiat modificări statistic semnificative doar la genotipul sensibil (Figura 2). Această scădere a nivelului transcripțional este deosebit de accentuată peste 24 ore post-inoculare, remarcându-se o reducere de 5,6 ori.

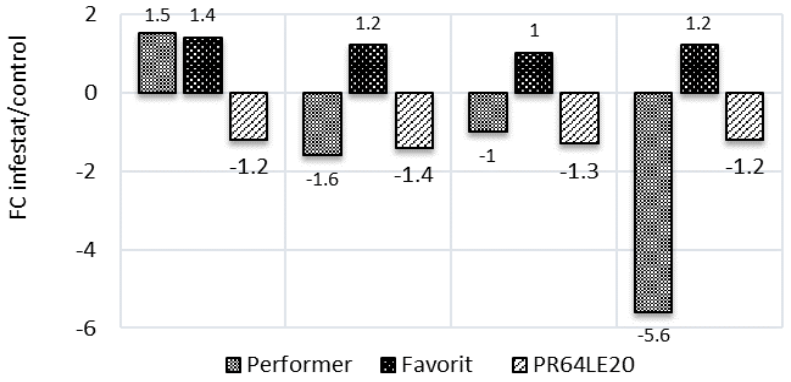


Figura 2. Valorile raportului de expresie a genei *NPR1* la plantele cultivate în absența și în prezența parazitului *O. cumana* Wallr.

Rezultatele obținute în faza de pre-atașament se diferențiază clar de cele observate în fazele tardive ale infecției, precum formarea primelor atașamente (18 zile), dezvoltarea tuberculilor (35 de zile), formarea lăstarilor subterani (53 de zile) și a lăstarilor aerieni (67 de zile) [7]. Astfel, Performer a manifestat un profil de supraexpresie constantă pe parcursul întregii perioade de analiză a patosistemului, cu valori semnificative la faza de dezvoltare a tuberculilor și a lăstarilor aerieni, fapt sugerează o reacție compensatorie tardivă, dar insuficientă pentru a asigura rezistența eficientă. În schimb, genotipurile rezistente au prezentat o subexpresie semnificativă preponderent în fazele de formare a lăstarilor subterani și aerieni, urmând, posibil, un model de apărare rapid în fazele incipiente, urmat de reprimarea căii RSD odată cu avansarea infecției.

Tendința de diminuare a activității genei în fazele tardive de interacțiune gazdă-patogen a fost constatată inclusiv la un șir de linii de floarea-soarelui (MS-2067A, MS-2077A și MS-2091A), unde în majoritatea cazurilor a fost relevată subexpresia genei *NPR1*, presupunându-se că în etapele avansate ale infecției, alte căi metabolice și gene de apărare devin dominante în menținerea rezistenței plantei [6].

CONCLUZII

Profilul expresiei genei *NPR1* este similar în probele martor și cele cultivate în prezența semințelor germinate de lupoaie, prezentând valori constante în primele 12 ore, urmate de o creștere moderată la genotipurile rezistente și pronunțată la genotipul sensibil la 24 ore post-inoculare. La nivelul expresiei *NPR1* în fazele incipiente ale interacțiunii gazdă-parazit nu s-au observat diferențe semnificative între hibrizi. Aceste rezultate concordă cu datele din literatura de specialitate, conform cărora *NPR1* este expresată constitutiv la niveluri scăzute, iar activarea sa post-infecție depinde în principal de modificări post-translaționale. Una dintre acestea este schimbarea statutului redox care determină reducerea tranzitorie a legăturilor disulfidice din forma oligomerică

a proteinei și translocarea monomerului NPR1 în nucleu, unde activează genele *PR*, declanșând răspunsurile de apărare.

Variațiile în nivelul de expresie a genei *NPR1* în probele co-cultivate cu *Orobanche cumana*, comparativ cu martorul, a evidențiat modificări statistic semnificative exclusiv la genotipul sensibil, conținutul de transcripți fiind puternic redus (de aproximativ 6 ori) la 24 de ore post-inoculare.

REFERINȚE:

1. DOMÍNGUEZ, J. R-41, a sunflower restorer inbred line, carrying two genes for resistance against a highly virulent Spanish population of *Orobanche cernua*. In: *Plant Breed.* 1996, 115, p. 203–204.
2. SISOU, D., TADMOR, Y., PLAKHINE, D., ZIADNA, H., HÜBNER, S., EIZENBERG, H. Biological and transcriptomic characterization of pre-haustorial resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* W.) in sunflowers (*Helianthus annuus*). In: *Plants*. 2021, 10, 1810. https://doi.org/10.3390/plants10091810
3. LETOUSEY, P., DE ZÉLICOURT, A., VIEIRA DOS SANTOS, C., THOIRON, S., MONTEAU, F., SIMIER, P., THALOUARN, P., DELAVAULT, P. Molecular analysis of resistance mechanisms to *Orobanche cumana* in sunflower. In: *Plant Pathology*. 2007, 56(3), p. 536–546. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059-.2007.01575.x
4. ZAVALIEV, R., DONG, X. NPR1, a key immune regulator for plant survival under biotic and abiotic stresses. In: *Molecular Cell*. 2024, 84(1), p. 131–141. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2023.11.018
5. ZHOU, J.M., TRIFA, Y., SILVA, H., PONTIER, D., LAM, E., SHAH, J., KLESSIG, D.F. NPR1 differentially interacts with members of the TGA/OBF family of transcription factors that bind an element of the PR-1 gene required for induction by salicylic acid. In: *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2000, 13(2), p. 191–202. https://doi.org/10.1094/MPMI.2000.13.2.191
6. ŞESTACOVA, T., GISCĂ, I., CUCEREAVÎI, A., PORT, A., DUCA, M. Expression of defence-related genes in sunflower infected with broomrape. In: *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2016, 30(4), p. 685–691.
7. DUCA, M., MARTEA, R., PORT, A., CLAPCO, S. Factori de transcripție implicați în răspunsul florii-soarelui la acțiunea lupoiaei. In: *Revista de Ştiinţă, Inovare, Cultură şi Artă „Akademos”*. 2022, 2(65), p. 54–62. https://doi.org/10.52673/18570461.22.2-65.03
8. DELANEY, T.P., FRIEDRICH, L., RYALS, J.A. *Arabidopsis* signal transduction mutant defective in chemically and biologically induced disease resistance. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 1995, 92, 6602–6606. https://doi.org/10.1073/pnas.92.14.6602

9. CHEN, J.-W., KUANG, J.-F., PENG, G., WAN, S.-B., LIU, R., YANG, Z.-D., DENG, H.-H. Molecular cloning and expression analysis of a NPR1 gene from sugarcane. In: *Pakistan Journal of Botany*. 2012, 44(1), p. 193–200.
10. CHERN, M.S., FITZGERALD, H.A., YADAV, R.C., CANLAS, P.E., DONG, X., RONALD, P.C. Evidence for a disease-resistance pathway in rice similar to the NPR1 mediated signaling pathway in *Arabidopsis*. In: *Plant Journal*. 2001, 27, p. 101–113.
11. AHANGAR, L., RANJBAR, G.A., BABAEIZAD, V., NAJAFI ZARRINI, H., BIABANI, A. Assay of NPR1 gene expression in wheat under powdery mildew stress. In: *Journal of Crop Protection*. 2017, 6(1), p. 157–166.
12. RADWAN, O., MOUZEYAR, S., VENISSE, J.S., NICOLAS, P., BOUZIDI, M.F. Resistance of sunflower to the biotrophic oomycete *Plasmopara halstedii* is associated with a delayed hypersensitive response within the hypocotyls. In: *Journal of Experimental Botany*. 2005, 56(420), p. 2683–2693. https://doi.org/10.1093/jxb/eri261
13. LIVAK, K.J., SCHMITTGEN, T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2-ΔΔCT method. In: *Methods*. 2001, 25, p. 402–408.
14. CAO, H., GLAZEBROOK, J., CLARK, J.D., VOLKO, S., DONG, X. The *Arabidopsis* NPR1 gene that controls systemic acquired resistance encodes a novel protein containing ankyrin repeats. In: *Cell*. 1997, 88, p. 57–63. https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81858-9
15. MOU, Z., FAN, W., DONG, X. Inducers of plant systemic acquired resistance regulate NPR1 function through redox changes. In: *Cell*. 2003, 113(7), p. 935–944. https://doi.org/10.1016/s0092-8674(03)00429-x

N.B.*Studiul a fost realizat în cadrul Subprogramului „011101 Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării a Republicii Moldova.*

CELE MAI RĂSPÂNDITE SPECII DE *TRICHOGRAMMA SPP.* COLECTATE DE LA DIFERITE CULTURI AGRICOLE ÎN REPUBLICA MOLDOVA

THE MOST WIDESPREAD *TRICHOGRAMMA* SPP. SPECIES COLLECTED FROM VARIOUS AGRICULTURAL CROPS IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 632.937:633/635(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.09**

Lidia GAVRILIȚA
ORCID: 0000-0001-9266-4565
E-mail: lidia_gavrilita@yahoo.com
Institutul de Genetică, Fiziologie şi Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary*.Between 2022-2024, 38 exposures with small cards containing Sitotroga cerealella eggs were conducted to collect Trichogramma from the wild. The identified species were T. embryophagum, T. pintoi, T. evanescens, T. dendrolimi, and T. leucania. The parasitism percentage of moth eggs exposed in the field depended on weather conditions (temperature, humidity, etc.). The highest parasitism rates were observed in irrigated tomato crops, while extreme heat and low humidity negatively affected Trichogramma populations. Due to the naturally low parasitism rates, additional field releases of Trichogramma are necessary for effective biological protection of crops.The use of entomophages has several advantages, including reduced financial costs for crop protection, conservation of beneficial organisms, increased biological efficiency in the field, improved agricultural production, better food quality, and minimal reliance on chemical treatments, reducing environmental pollution.*

Keywords: *Percentage of parasitism, S. cerealella Ol. Trichogramma spp.*

INTRODUCERE

Trichogramma este agentul principal în combaterea biologică și integrată a complexului de lepidoptere dăunătoare la culturile graminee, leguminoase, tehnice, legumicole, ierburi, viticole, pomicole, silvice, floricole, aromatice, medicinale și al.

1. Legumicole – varză, tomate, ardei, vinete etc. – complexul de buhe: buha verzei (*Mamestra brassicae* L., buha fructificaţiilor (*Helicoverpa armigera* Hb.), buha exclamatoare (*Agrotis exclamationis* L.), Buha-C-*niagră* (*Amathes-S-nigrum* L.), buha ipsilon (*Agrotis ypsilon* Huf.), complexul de molii: (*Plutella maculipenis* L.), complexul de albiliţe: (*Pieris brassicae* L., *Pieris rapae* L.) etc.

2. Leguminoase (pentru boabe) – mazărea, soia, lintea, fasolea etc. – complexul de buhe: (*Mamestra brassicae* L., *Helicoverpa armigera* Hb., *Agrotis exclamationis* L., *Amathes*-C-*nigrum* L., *Agrotis ypsilon* Huf. şi complexul de molii.

3. Tehnice – Sfecla, floarea–soarelui, tutun etc. – complexul de buhe: (*Mamestra brassicae* L., *Helicoverpa armigera* Hb., *Agrotis exclamationis* L., *Amathes-* C *-nigrum* L., *Agrotis ypsilon* Huf.) şi complexul de molii: molia sfeclei (*Scrobipalpa acelatella* Boyd).

4. Graminee – Porumb, grâu, orz, ovăz, triticale etc.– buha fructificaţiilor (*Helicoverpa armigera* Hb.*),* omida de câmp (*Pyrasta sticticalis* L.), sfredelitorul porumbului (*Ostrinia nubilalis* Hb.) şi complexul de molii la porumb.

5. Pomicole – Măr – viermele merelor (*Laspeyresia pomonella* L.)*,* viermele oriental (*Grapholitha molesta* Br.)*,* prun – viermele prunelor (*Grapholitha funebrana* Tr.), complexul de buhe.

6. Viticole - Viţa de vie – Molia strugurilor (*Lobesia botrana* Denis & Schiff.) etc.

7. Decorative/Floricole – Flori – complexul de buhe: *Mamestra brassicae* L., *Helicoverpa armigera* Hb., *Agrotis exclamationis* L.*,* complexul de molii: molia rozaceelor (*Archips roza* L.), fluturile antic (*Orgya antiqua* L.) etc.

8. Medicinale, complexul de buhe: *Helicoverpa armigera* Hb*., Agrotis exclamationis* L., complexul de molii.

9. Culturi silvice – cei mai răspândiţi dăunători sunt: complexul de buhe – buha verzei (*Mamestra brassicae* L.), buha fructificaţiilor (*Helicoverpa armigera* Hb.), buha exclamatoare (*Agrotis exclamationis* L.)*;* complexul de molii: molia rozaceelor (*Archips roza* L.), fliturile antic (*Orgya antiqua* L.), molia verde a stejarului (*Tortrix viridana* L.), viermele prunelor (*Grapholitha funebrana* Tr.)*,* omida păroasă a stejarului (*Lymantria dispar* Hb.), omida păroasă a dudului (*Hyphantria cunea Drury*), molia mineră a castanului (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, viermele merelor (*Laspeyresia pomonella* L.).

Entomofagul *Trichogramma sp.* este o insectă mică, care are dimensiunile de 0,3-0,5 mm şi depune ouăle ei în ouăle dăunătorului – fiind un parazit oofag. Picioarele sunt alcătuite din trei segmente. *Trichogramma* are două perechi de aripi. Aripile anterioare sunt de două ori mai lungi, decât lăţimea lor, la vârf sunt rotunjite. Antenele femelelor sunt mai scurte şi se termină cu un segment puţin rotunjit cu sensile scurte. La masculi aripile sunt mai mici, antenele sunt acoperite cu sensile mai lungi. Pentru determinarea speciilor de *Trichogramma* este necesar de caracteristica morfologică şi biologică, cheia principală fiind organele genitale ale masculilor. Pentru aceasta se pregătesc preparate temporare cu glicerină, ori permanente, indivizii se ţin în prealabil în acid lactic până se decolorează (aproximativ 3-4 zile) ca să se vadă bine structura aparatului genital, apoi se fac preparatele.

Alegerea raportului la înmulţirea *Trichogramma* se determină de starea materialului biologic, atât a *Trichogramma*, cât şi a ouălor de molia cerealelor. La etapele iniţiale de înmulţire o are obţinerea culturii materne a entomofagului, mai raţionale sunt raporturile mari gazdă:parazit (P:G), pe când la etapa finală de înmulţire (producerea *Trichogramma* pentru lansarea în câmp), atunci când criteriul principal îl constituie preţul de cost a producţiei, pot fi rentabile raporturile mai mici - 1:5 ori 1:10. Rezolvarea unilaterală a problemei date poate brusc reduce calitatea eentomofagului *Trichogramma,* ori ridicarea

neîntemeiată a preţului de cost. Numai ţinând cont de toţi factorii, se poate corect de-terminat strategia de înmulţire a *Trichogramma*. În aşa fel pentru optimizarea procesului de înmulţire a *Trichogramma* prezintă interes aprecierea dependenţei indicilor biologici: prolificităţii, ecloziunea indivizilor, numărul de femele, procentului de parazitare de ni-velul raportului parazit:gazdă (P:G) şi expoziţia parazitării.

MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările cu entomofagul dat, se încep cu colectarea din natură a *Trichogramma*, de la diferite culturi agricole. Pentru a determina speciile de *Trichogramma*, este necesar de caracteristicile morfologice, și biologice, organele genitale masculine, fiind trăsătura distinctivă cheie. Pentru identificare s-au făcut preparate temporare pe bază de glicerină, sau preparate permanente. Indivizii sunt inițial ținuți în acid lactic până la decolorare (3-4 zile) pentru a se observa mai bine structurile genitale ale masculilor [2], apoi se determină structura organelor genitale la speciile colectate.

Pentru a colecta *Trichogramma* din natură, au fost efectuate experimente de ex-punere în câmp a etichetelor cu ouă de molia cerealelor proaspete, din martie până în august, în perioada de vegetație a culturilor anuale și multianuale, în anii 2022-2024. Au fost eșantionate la diferite culturi, inclusiv măr, prun, salcâm, măcieș, floarea soarelui, soia, fasole, mazăre, roșii, porumb, cireș și salvie. S-a determinat procentul de ouă de *Sitotroga cerealella* expuse și parazitate de *Trichogramma* din natură. Colectarea din câmp de la diferite culturi a *Trichogramma* s-a efectuat anual după două metode:

1. Colectarea ouălor de dăunători parazitate de către *Trichogramma* naturală.

2. Amplasarea cartonaşelor cu ouă proaspete de molia cerealelor (*Sitotroga cerea-lella* Ol.) în câmp pentru parazitarea lor de către *Trichogramma* naturală [1] .

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru efectuarea cercetărilor anual se efectuează colectarea entomofagului *Tri-chogramma spp.,* din natură, se identifică speciile colectate, se înmulțesc și se induc în diapauză pentru cercetările ulterioare.

În 2022 s-au efectuat 14 exponări la diferite culturi agricole de pe data de 14 aprilie până în 3 august. Procentul de parazitizare la cultura de măr a variat de la 0,3% la 2,8%, prun de la 0,3% la 3,1%, floarea soarelui de la 3,4% la 5,8%, fasole de la 3,0% la 3,4%, mazăre de la 3,2,1% la roșii, de la 3,0% la 12,0%, soia de la 2,0% la 5,0%, porumb de la 2,2% la 8,0% și cireșe de la 0% la 1,1%. Speciile *Trichogramma* identificate au fost T. *embryophagum, T. pintoi, T. evanescens* și *T. dendrolimi, T.leucania.*

În anul 2023 pentru colectarea *Trichogramma* din natură s-au efectuat 11 exponări la diferite culturi agricole din 14.04.2023 până pe data de 24.07.23 procentul de paraziz-tare la cultura de măr a variat de la 0,6-8,8%, prun 0,8-1,2%, Floarea soarelui 3,4-5,8%, fasole 3,0-3,4%, mazăre 2,8-3,1%, tomate 7,5-8,8%, soia 4,2-5,4%, porumb 6,0-7,2%, măcieș 0-1%.

S-a determinat procentul de ouă de molia cerealelor pe cartele exponate şi parazitate de *Trichogramma sp.* în natură, unde acest indice a variat de la 0,6-8,8%.

Cu scopul colectării *Trichogramma* din natură în 2024 s-au efectuat 13 exponări de pe data de 15.04.24 până pe data de 16.07.24 la diferite culturi: procentul de ouă de molia cerealelor pe cartele exponate şi parazitate de *Trichogramma sp.* în natură, la culturile de măr a fost 06-88%, prun 0 -10,0%, floarea soarelui 3,4-5,8%, fasole 3,0-3,4%, mazăre 2,8-3,1%, tomate 8,0-11%, soia 2,0-7,0%, porumb 4,0-10,0%, măcieș 0-1%, salcâm galben 3,0%, salcâm alb 0-4%, vişin 0-3%,trandafir -0. S-au identificat următoarele specii de *Trichogramma: T. embryophagum, T. pintoi, T.evanescens, T.dendrolimi, T. leucania.*

Cele mai răspândite specii, care se întâlnesc în agrocenozele culturilor anuale (legumicole, leguminoase, graminee, tehnice) colectate din ouăle de complexului de buhe, molii, albilițe sunt: *T. evanescens* W.şi *T.pintoi* V. la culturile multianuale (la meri, prun, peri) cele mai răspândite au fost colectate: *T. dendrolimi, T. embryophagum.* Colectarea entomofagului *Trichogramma* din natură este un procedeu sigur de sporire a vitalității speciilor entomofagului și cu cât numărul de indivizi naturali (colonia inițială) este mai mare, cu atât indicii biologici sunt mai mari, cu atât este mai puternică populaţia [3]. Pentru a obține o eficacitate mai mare în câmp, se ține cont de unde a fost colectată specia, pe care o lansăm în câmp, contra dăunătorului dat.

CONCLUZII

1. În perioada 2022-2024, au fost efectuate 38 de expuneri cu cartele mici, care conțineau ouă de *Sitotroga cerealella* pentru a colecta *Trichogramma* din natură. Speciile identificate au fost

T. embriophagum, T. pintoi, T. evanescens, T. dendrolimi și T. leucania.

2. Procentul de parazitizare a ouălor de molii expuse în câmp depinde de condițiile meteorologice (temperatură, umiditate etc.). Cele mai mari rate de parazitism au fost observate la culturile de tomate irigate, în timp ce căldura foarte ridicată și umiditatea scăzută, care au afectat negativ populațiile de *Trichogramma.* Datorită ratelor de parazitism scăzute a ouălor de dăunători în natură, sunt necesare lansări suplimentare cu *Trichogramma* în câmp, pentru protecția biologică eficientă a culturilor.

3. Utilizarea entomofagelor are mai multe avantaje, printre care costurile financiare reduse pentru protecția culturilor, conservarea organismelor benefice, creșterea eficienței biologice în câmp, îmbunătățirea producției agricole, o calitate mai bună a alimentelor și reducerea la minimum de tratamente chimice, reducerea poluării mediului, păstrarea entomofaunei utile în câmp.

REFERINȚE:

1. GAVRILITSA, L. Utilization of methods and procedures for rearing and application of *Trichogramma* sp. in Biological Plant Protection. Conference intern., Advances and prospects of ecological chemistry, 2002, p. 205-206.

2. GAVRILIŢA, L., DIURICI G., RĂILEANU, N. Prezenţa speciilor de *Trichogramma* în agrocenozele culturilor agricole. Simpozionul Științific Internaţional. Protecţia Plantelor–Realizări şi Perspective. Chişinău, 2009. p. 88-89.
3. GAVRILIŢA, L**.** «Metode şi procedee de înmulţire şi aplicare a entomofagului *Trichogramma* pentru protecţia plantelor», Academia de Ştiinţe a Moldovei. Institutul de Genetică, Fiziologie şi Protecţie a Plantelor AŞM, Tipografia «Prim–Caro". *Monografie.* 2014. p. 350. ISBN 978-9975-56-176-1.

N.B. *Aceste cercetări au fost realizate în cadrul subprogramului 011103: „ ELABORAREA MIJLOACELOR ECOLOGIC INOFENSIVE DE REDUCERE A IMPACTULUI ORGANISMELOR DĂUNĂTOARE ALE CULTURILOR AGRICOLE PE FUNDALUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE".Finanţat de Ministerul Educaţiei şi Cercetării .*

VARIAȚII FENOTIPICE LA ORZUL DE TOAMNĂ (M_0) PRIN IRADIEREA CU RAZE X ȘI STRES HIDRIC LA STADIUL DE GERMINARE

PHENOTYPIC VARIATIONS IN WINTER BARLEY (M_0) THROUGH X-RAY IRRADIATION AND DROUGHT STRESS DURING GERMINATION

CZU: 575.21:633.16:631.547.1 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.10**

Tatiana GRIGOROV
ORCID: 0000-0003-1906-4322
E-mail: tatiana.grigorov@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova,Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This study investigated the phenotypic variations in three winter barley varieties (Igri, Ciuluc, Strălucitor) and two hybrid lines (Ciuluc x Igri - 5As, Strălucitor x Igri - 9B). Seeds were subjected to various X-ray doses (200 Gy, 250 Gy) and 10% polyethylene glycol (PEG 6000) for drought stress, applied individually or in combination. During early development, important indicators such as germination rate and plant viability were assessed, revealing a great impact of both X-rays and drought stress. Combined treatments often caused a more pronounced reduction, particularly in the Ciuluc x Igri hybrid. Notably, X-ray irradiation alone or combined with drought stress induced diverse phenotypic deviations across all genotypes. The spectrum of these deviations varied depending on the genotype and treatment. The combined application of X-rays and drought stress at the germination stage proved an effective strategy for inducing broad phenotypic variability in M_0 barley, confirming the mutagenic potential of the applied treatments. These findings offer promising prospects for selecting new drought-tolerant forms in subsequent generations.*

Keywords: *winter barley, X-rays, polyethylene glycol, 10% PEG6000, drought stress, phenotypic variations.*

INTRODUCERE

Seceta este o constrângere de mediu cu impact sever ce afectează semnificativ producția agricolă a orzului, esențial la nivel global pentru alimentație și furaje. Cea mai eficientă și economică metodă de a răspunde cerințelor viitoare ale producției agricole, în contextul schimbărilor climatice, este ameliorarea soiurilor cu toleranță ridicată la secetă [1]. În acest sens, utilizarea radiațiilor ionizante (în special a razelor X) în calitate de inductori ai variabilității genetice, și aplicarea ulterioară a polietilenglicolului (PEG 6000) pentru inducerea stresului osmotic în stadiul de germinare la plantele de orz, reprezintă o strategie promițătoare pentru obținerea de forme mutante tolerante la secetă [2].

Evaluarea plantelor de orz în fazele critice de creștere este esențială pentru a selecta soiurile tolerante la secetă. Stresul hidric afectează profund creșterea plantelor, influențând numeroase procese morfofiziologice și biochimice [3], iar variațiile fenotipi-

ce observate în aceste condiții reflectă direct diversitatea genetică a plantelor în toleranța la secetă. Prin urmare, prezintă interes analiza devierilor fenotipice la orzul de toamnă (M_0) obținute prin iradierea cu raze X și aplicarea stresului hidric în stadiul de germinare.

MATERIALE ȘI METODE

În cadrul acestui studiu, ca material biologic au fost utilizate 3 soiuri de orz de toamnă (*Hordeum vulgare* L., 2n=14): **Igri** (spic cu 2 rânduri, Marea Britanie, 2/0129), **Ciuluc, Strălucitor** (spic cu 4 rânduri, Republica Moldova). De asemenea, au fost incluse 2 linii hibride cu spice cu 2 rânduri de boabe: ***Ciuluc x Igri - 5As (CxI-5As), Strălucitor x Igri - 9B*** **(*SxI-9B*)** obținute în cadrul Laboratorului de Biotehnologii Vegetale al IGFPP. Pentru realizarea scopului propus, semințele de orz au fost supuse iradierii cu raze X (150, 200, 250 Gy) și stresului hidric la etapa germinării prin aplicarea unei soluții de PEG 6000 (10%), conform protocolului optimizat în cercetările noastre anterioare [4]. Având în vedere sensibilitatea mai ridicată a soiului Igri, dozele de iradiere au fost ajustate specific pentru acesta: 150 Gy (M I, E I) și 200 Gy (M II, E II).

Astfel, pentru fiecare genotip, au fost stabilite 5 variante de tratament: **MI** (200 Gy, 0% PEG); **M II -** Martor 2 (250 Gy, 0% PEG); **M III -** Martor 3 (0 Gy; 10% PEG); **E I -** Experiment 1 (200 Gy, 10% PEG); **E II -** Experiment 2 (250 Gy, 10% PEG), care au fost comparate cu varianta : **MA -** Martor Absolut (0 Gy, 0% PEG). Semințele de orz de toamnă aseptizate (30 per variantă) au fost puse la germinat în cutii Petri sterile, în condiții controlate de temperatură (20 ± 2^0C) la întuneric, timp de 7 zile. În această etapă, s-au înregistrat numărul de semințe semănate (NTS), numărul de semințe germinate (NSG) și, ulterior, numărul total de plante evaluate (NTP) la momentul transferului în sol. Apoi au fost estimate rata de germinare conform formulei: SG = (NSG/NTS)*100% și rata de viabilitate a plantelor: VPl = (NTP/NSG)*100%. Ulterior, plantulele de orz (Z10-11) au fost transferate în palete cu sol și crescute în condiții de laborator până la stadiu Z 19-20. Acestea au fost apoi cultivate în condiții de solar, conform tehnicilor standard (rânduri de 1,5 m lungime, distanța între rânduri de 25 cm). Pe întreaga perioadă de vegetație, toate deviațiile fenotipice observate în variantele experimentale au fost înregistrate prin comparație cu varianta MA, concomitent cu analiza fenologică a plantelor de orz conform scării Zadocks. Pentru fiecare variantă au fost estimate: rata devierilor fenotipice (RDF, %) și rata fiecărui tip de deviere în parte (RD (n), %, unde n - tipul de variație). Acești parametri au fost calculați conform formulelor: RDF = (NPDF/NTP)*100%, unde NTDF - numărul total de plante cu deviații fenotipice per variantă, NTP - numărul total de plante analizate. RD (n) = (ND (n)/NTDF)*100%, unde ND (n) - numărul plantelor cu un anumit tip de deviere fenotipică.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru evaluarea impactului iradierii cu raze X și al stresului hidric aplicat la stadiul de germinare, asupra variabilității fenotipice la orzul de toamnă (M_0), este importantă

analiza parametrilor: rata de germinare (RSG, %) și rata de viabilitate a plantelor (RVPl, %). Acești parametri sunt fundamentali pentru a cuantifica impactul inițial al tratamentelor și pentru a determina mărimea și potențialul populației M_0 ce va fi analizată pentru prezența deviațiilor fenotipice. Datele privind viabilitatea plantelor de orz în generația M_0, obținute în urma tratamentelor cu raze X și stres hidric, sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Viabilitatea plantelor de orz (M_0) expuse iradierii și stresului hidric la germinare

Genotip/ Varianta		NTS	NSG	NTP	RSG, %	RVPl, %
Străluci-tor	MA	30	30	29	96,67	96,67
	MI	30	29	28	96,55	93,33
	MII	30	30	22	73,33	73,33
	MIII	30	30	29	96,67	96,67
	EI	30	28	28	100,00	93,33
	EII	30	29	27	93,10	90,00
Ciu-luc	MA	30	30	30	100,00	100,00
	MI	30	30	27	90,00	90,00
	MII	30	29	21	72,41	70,00
	MIII	30	30	30	100,00	100,00
	EI	30	30	28	93,33	93,33
	EII	30	30	24	80,00	80,00
Ciu-luc x Igri	MA	30	18	16	88,89	53,33
	MI	30	23	23	100,00	76,67
	MII	30	4	4	100,00	13,33
	MIII	30	22	21	95,45	70,00
	EI	30	24	19	79,17	63,33
	EII	30	23	12	52,17	40,00
Străluci-tor x gri	MA	30	30	28	93,33	93,33
	MI	30	30	30	100,00	100,00
	MII	30	30	30	100,00	100,00
	MIII	30	30	30	100,00	100,00
	EI	30	30	25	83,33	83,33
	EII	30	30	25	83,33	83,33

În rezultatul analizei parametrilor RSG și RVPL la etapa germinării și dezvoltării timpurii a genotipurilor de orz de toamnă supuse iradierii cu raze X și stresului hidric cu soluții de 10% PEG 6000 s-a evidențiat un impact variabil a factorilor respectivi în dependență de genotip.

În majoritatea variantelor iradiate și supuse stresului hidric s-a evidențiat o tendință de reducere a ambilor indici comparativ cu MA. Această tendință este mai pronunțată în cazul dozelor mai ridicate de iradiere – 250 Gy (MII) și în prezența stresului hidric indus de PEG 6000 (EI, EII), care pot acționa sinergic. Prin urmare, hibridul *Ciuluc x Igri* a manifestat o sensibilitate deosebită la tratamente, în special la dozele ridicate de iradiere, unde valorile RSG au scăzut cu 25% - 41,31% (MII, EII) iar RVPl cu 25% - 75% (EII, MII). Aceasta indică o vulnerabilitate genetică înaltă la iradiere care s-a evidențiat mai ales asupra indicelui RVPL în comparație cu efectul razelor X asupra RSG. Contrar efectului stresului combinat, care avut impact mai pronunțat asupra RSG. Sensibilitatea observată la această linie hibridă, poate fi atribuită parțial sensibilității ridicate a soiului parental Igri, pentru care dozele de iradiere au fost ajustate specific.

În ceea ce privește forma hibridă *Strălucitor x Igri* s-a evidențiat o toleranță deosebită la majoritatea tratamentelor, RSG și RSPL fiind de 83,33% - 100% în toate variantele. Cu toate acestea, valorile RVPl au scăzut cu 10,71% (EI și EII) comparativ cu MA (93,33%), indicând un impact al stresului combinat, deși genotipul și-a menținut performanța excelentă atât la germinare cât și în timpul dezvoltării timpurii. Această rezistență pronunțată, în special la nivelul germinării și al supraviețuirii timpurii, sugerează o capacitate superioară de adaptare și reparație genetică, prin mecanisme eficiente de reparare a ADN-ului și de gestionare a stresului, moștenite probabil de la forma maternă Strălucitor, care este mai rezistent comparativ cu cea paternă Igri.

Genotipul Strălucitor a prezentat, o viabilitate ridicată, iar indicii RSG și RVPL au variat de la 73,33% (MII) până la 96,67% - 100% (MIII, EI). În același timp, parametrii analizați s-au redus cu 24,14% în special în varianta MII (250 Gy) iar în variantele iradiate și supuse stresului hidric EII (250 Gy + 10% PEG) a scăzut cu 3,69% (RSG) și 6,90% (RVPl). Aceasta sugerează o sensibilitate la dozele ridicate de iradiere, mai ales în absența stresului hidric.

Similar, genotipul Ciuluc a demonstrat o toleranță înaltă atât la germinare cât și în timpul dezvoltării timpurii față de factorii stresogeni aplicați. Cu toate acestea, s-a evidențiat reduceri de 20%-30% a ratei de germinare și de viabilitate în variantele EII, MII comparativ cu MA, indicând un impact vizibil al tratamentelor combinate și al dozelor mari de iradiere, dar un răspuns general mai bun decât *Ciuluc x Igri.*

Este necesar de menționat că, datele pentru genotipul Igri nu sunt incluse în Tabelul respectiv din cauza germinării extrem de scăzute și a numărului foarte redus de plante viabile (EI – 4 plante). Ceea ce indică despre o sensibilitate generală foarte mare a acestui soi la stres.

În plus, de menționat că stresul combinat a atenuat efectul iradierii cu raze X în doza de 250 Gy asupra viabilității plantelor la genotipurile Strălucitor, Ciuluc (spice cu 4 rânduri de boabe) și forma hibridă Ciuluc x Igri (spice cu 2 rânduri de boabe).

Prin urmare, în rezultatul analizei minuțioase a indicilor RSG și RVPl s-a evidențiat un impact pronunțat a factorilor stresogeni (razele X și PEG6000) asupra mărimii populații de orz de toamnă (M_0) și toleranța specifică a plantelor de orz de toamnă evaluate. Aceste date sunt necesare pentru identificarea și selecția eficientă a devierilor fenotipice și fiziologice utile care sugerează inducerea unei variabilități genetice.

În scopul stabilirii spectrului și incidenței devierilor fenotipice la orzul de toamnă (M_0), în funcție de doza razelor X și de condițiile de stres hidric aplicat la etapa germinării, au fost analizate detaliat parametrii prezentați în Tabelul 2.

Tabelul 2. Incidența devierilor fenotipice la orzul de toamnă obținute obținute prin iradierea cu raze X și aplicarea stresului hidric în stadiul de germinare

Genotip/ Varianta		NTP	NTDF		Rata diferitor tipuri de devieri fenotipice, %						
				DCl	DFV	DSt	DSSt	DSR	DFr	DAr	DIF
Străluci-tor	MA	29	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	28	28	3,57	14,29	-	100,00	-	10,71	3,57	3,6
	MII	22	22	4,55	4,55	-	100,00	-	4,55	-	4,5
	MIII	29	29	-	89,66	-	-	-	-	-	10,3
	EI	28	28	3,57	10,71	-	100,00	-	7,14	50,00	14,3
	EII	27	27	11,11	22,22	11,11	100,00	7,41	11,11	14,81	33,3
Ciu-luc	MA	30	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	27	27	7,41	-	-	100,00	-	-	-	-
	MII	21	21	9,52	-	-	100,00	-	-	4,76	-
	MIII	30	30	-	100,00	-	-	-	-	-	-
	EI	28	28	10,71	-	-	100,00	-	-	-	-
	EII	24	24	4,17	-	-	100,00	-	-	-	-
Ciu-luc x Igri	MA	16	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	23	23	4,35	100,00	-	100,00	-	30,43	-	30,4
	MII	4	4	25,00	100,00	-	100,00	75	100,00	75,00	100,0
	MIII	21	21	-	100,00	-	-	4,76	-	4,76	-
	EI	19	19	21,05	42,11	-	100,00	10,53	-	15,79	42,1
	EII	12	12	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,0
Străluci-tor x Igri	MA	28	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	MI	30	30	3,33	73,33	-	100,00	-	20,00	-	60,0
	MII	30	30	-	100,00	3,33	100,00	-	30,00	-	30,0
	MIII	30	30	-	100,00	-	-	-	16,67	-	16,7
	EI	30	30	4,00	28,00	-	100,00	8,00	28,00	8,00	28,0
	EII	25	25	-	56,00	-	100,00	20,00	56,00	8,00	60,0

Notă: DCl – deviații clorofiliene, **DFV** – deviații ale fazelor de vegetație, **DSt** – deviația sterilitatea plantei, **DSSt** – deviația semisterilitatea plantei, **DSR** – deviația spic ramificat, **DFr** – deviația culorii frunzei, **DAr** – deviații ale aristelor, **DIF** – deviația înfrățire întârziată.

Prin urmare s-au constatat următoarele aspecte importante privind incidența și spectrul devierilor fenotipice că, iradierea cu raze X și aplicarea stresului hidric solitar sau în combinație au indus o frecvență de 100% a RDF la toate genotipurile analizate, confirmând eficiența acestor factori în generarea variabilității M_0. În ceea ce privește spectrul și cota diferitor tipuri de devieri fenotipice s-a stabilit că iradierea a fost principalul inductor a DCl (3.33% la *Strălucitor x Igri ,* MI și 25 % la *Ciuluc x Igri,* MII). Stresul hidric singular (MIII) nu a indus DCl. În combinație cu stresul hidric, razele X au amplificat DCl la s. Strălucitor (EII, 11,11% comparativ cu MII, 4,55%) și s. Ciuluc (EI - 10,71% comparativ cu MI - 7,41%), indicând sinergie. La hibridul *Ciuluc x Igri,* în varianta EII, nu au fost evidențiate DCl, probabil din cauza unei viabilități scăzute și letalitate selectivă. Fapt confirmat prin prezența unei rate înalte de DCl în varianta - 21,05%.

Rata DSt a fost evidențiat doar în variantele iradiate cu doze mari de raze X sau în cazul combinații specifice a factorilor, precum la genotipurile Strălucitor EII (11,11%) și *Strălucitor x Igri* MII (3,33%). Stresul hidric singular (MIII) nu a indus sterilitatea plantelor. În același timp, deviația fenotipică DSSt a fost evidențiată cu o incidență de 100% la toate genotipurile în toate variantele iradiate (MI, MII, EI, EII). Stresul hidric (MIII) nu a indus DSSt. Aceasta confirmă că razele X reprezintă un factor mutagen extrem de eficient care induce perturbarea fertilității.

În ceea ce privește DSR, s-a evidențiat o variabilitate a incidenței în dependență de genotip. Această deviere s-a înregistrat la forma hibridă *Ciuluc x Igri,* în varianta MIII, cu o frecvență de 4,76% și în varianta MII, cu o incidență de 75%. De asemenea a fost remarcată la genotipurile Strălucitor (EII, 7,41%) și *Strălucitor x Igri* (EI, 8%; EII, 20%). Prin urmare cea mai mare valoare a ratei de DSR a fost estimată pentru varianta cu radiație în doza de 250 Gy singular și în combinație cu stresul hidric, la hibridul *Strălucitor x Igri*, evidențiind sinergia și impactul dozelor înalte asupra inducerii acestei variații. În cazul s. Ciuluc nu au fost evidențiate DSR, ceea ce indică despre rezistență la inducerea DSR. De remarcat că, la genotipul Igri (MA), a fost evidențiat prezența variației DSR (6 plante cu grad diferit de ramificare, mai pronunțat comparativ cu celelalte genotipuri), sugerând o predispoziție genetică a acestui soi. Sensibilitate extremă și particularitatea sa fenotipică îl diferențiază semnificativ de celelalte genotipuri analizate. Un factor potențial care ar fi putut contribui la această manifestare, în condițiile de solar, este temperatura ridicată (peste 39°C) în faza incipientă de formare a spicului, temperaturi care sunt cunoscute pentru capacitatea lor de a induce ramificarea spicului [5].

Pentru DAr s-au stabilit valori ridicate la genotipurile Strălucitor (14,81% - 50%) și *Ciuluc x Igri* (15,79 - 75%), variantele iradiate cu raze X în combinație cu stresul hidric. Combinația factorilor stresogeni a amplificat semnificativ DAr de 4,15 ori la s. Strălucitor (EI) iar la hibridul *Strălucitor x Igri* (EI, EII) a constituit 8% comparativ cu MA(0%).

Referitor la rata DFr, în varianta supusă stresului hidric singular s-au stabilit valori de 16,67% - 100%, la ambele forme hibride. Incidența acestei deviații s-a mărit la va-

riantele iradiate sau în combinație cu stresul hidric la genotipurile Strălucitor, *Ciuluc x Igri* și *Strălucitor x Igri*. Combinația factorilor evaluați a dus la creșterea ratei DFr de 1,86 - 2,44 ori la genotipurile *Strălucitor x Igri* și s. Strălucitor. Rata DFr în varianta MII și EII la hibridul *Ciuluc x Igri,* a constituit 100%, iar la s. Ciuluc nu s-au înregistrat astfel de deviații. Acest fapt confirmă sensibilitatea și respectiv toleranța genotipurilor respective. Similar pentru DIF, s. Ciuluc nu a prezentat astfel de variație fenotipică iar la linia hibridă *Ciuluc x Igri* s-au stabilit cele mai înalte valori 100% (MIII - MII). La celelalte genotipuri (*Strălucitor x Igri* și Strălucitor) rata DIF s-a majorat de 2 - 7,4 ori în variantele iradiate (250 Gy) în complex cu stresul hidric comparativ cu efectul singular al fiecărui factor în parte. De asemenea au fost depistate schimbări fenologice în variantele experimentale față de varianta martor. Astfel, stresul hidric cu PEG 6000 a contribuit la maturitatea timpurie a plantelor de orz, iar razele X la maturitatea întârziată cu o fază de vegetație. Incidența DFV a înregistrat valori înalte pentru ambele forme hibride și constituit 73,33% - 100% în variantele iradiate și supuse stresului hidric singular. De remarcat că DFV sunt influențate în special de stresul hidric, care a perturbat dezvoltarea normală a plantelor de orz de toamnă pentru toate genotipurile analizate.

CONCLUZII

În rezultatul analizei comparative a fost demonstrat impactul major al razelor X (200 Gy - 250 Gy) și stresului hidric aplicat la stadiu de germinare asupra sporirii incidenței și extinderii spectrului de variații fenotipice la orzul de toamnă (M_0).

Combinarea factorilor de stres a amplificat rata deviațiilor fenotipice sugerând un efect cumulativ sau sinergic care favorizează generarea mutațiilor și adaptărilor fenotipice.

Aplicarea combinată a razelor X și stresului hidric la etapa germinării s-a dovedit a fi o strategie eficientă pentru a induce un spectru larg de deviații fenotipice în generația M_0 la orzului de toamnă, variind în funcție de doza iradierii și genotip. Aceste observații confirmă potențialul mutagen al tratamentelor și deschid perspective pentru obținerea de noi forme tolerante la secetă prin selecția în generațiile ulterioare.

REFERINȚE:

1. Cai, K., Chen, X., Han, Z., et al. Screening of Worldwide Barley Collection for Drought Tolerance: The Assessment of Various Physiological Measures as the Selection Criteria. Front. Plant Sci. 2020, 11, p.1-16. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01159
2. http://mvd.iaea.org/, vizitat 8.02.2024
3. KHADKA, K., EARL, H., RAIZADA, M. A physio-morphological trait-based approach for breeding drought tolerant wheat. In: *Front. Plant Sci*. 2020, 11, art. 715. p.1-26.

4. GRIGOROV, T. Determinarea radiosensibilității și dozelor optime mutagene a razelor X la orzul de toamnă. În: *Genetica, fiziologia şi ameliorarea plantelor*, Conferința științifică internațională Ed. 8, 7-8 octombrie 2024, Chișinău. Chișinău: CEP USM, 2024, Ediția 8, pp. 243-247. ISBN 978-9975-62-766-5. DOI: https://doi.org/10.53040/gppb8.2024.41
5. Li, G., Kuijer, H.N.J., Yang, X. *et al.* MADS1 maintains barley spike morphology at high ambient temperatures. *Nat. Plants* **7**, 2021. p.1093–1107. DOI:10.1038/s41477-021-00957-3

N.B. *Cercetările au fost realizate în cadrul subprogramului 011101 „Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de către Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.*

INDICI DE CALITATE AI BIOMASEI ENERGETICE DE *SILPHIUM PERFOLIATUM* ÎN MOLDOVA

QUALITY INDICATORS OF *SILPHIUM PERFOLIATUM* BIOMASS AS AN ENERGY SOURCE IN MOLDOVA

CZU: 581.19:582.998.16(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.11**

Ana GUȚU
ORCID: 0000-0001-8965-2416
E-mail: ag9152633@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Mihai GADIBADI
ORCID: 0000-0002-7038-5669
E-mail: mm.gadibadi@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nicolae DARADUDA
ORCID: 0000-0001-5683-0431
E-mail: nicolae.daraduda@tran.utm.md
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Andreea ANDREOIU
ORCID: 0009-0001-3709-275X
E-mail: andreea.ciopata@yahoo.com
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Simona ACATRINEI (DUMITRIU)
ORCID: 0009-0003-7026-137X
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Mihai STAVARACHE
ORCID: 0000-0002-3133-3372
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Cristian GAVRILĂ
ORCID: 0009-0003-0584-7745
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Veaceaslav MAZĂRE
ORCID: 0009-0003-1751-8762
E-mail: valentin.mazare@gmail.com
Universitatea de Științe ale Vieții „Regele Mihai I" din Timișoara, Timișoara, România

Romina MAZĂRE
ORCID: 0000-0002-1247-5551
E-mail: m.romina@gmail.com
Universitatea de Științe ale Vieții „Regele Mihai I" din Timișoara, Timișoara, România

Summary. *The goal of this study was to evaluate the quality indicators of the biomass from the local cultivar 'Vital' of Silphium perfoliatum cultivated in experimental plots at the National Botanical Garden (Institute) of Moldova State University, Republic of Moldova, for energy purposes. The results showed that the biochemical composition of the dry matter of green mass substrates was characterized by the following key indicators: 506.11-508.89 g/kg carbon, 18.72-26.56 g/kg nitrogen, 117-166 g/kg crude protein, 84-89 g/kg ash, 46-60 g/kg acid detergent lignin, 306- 316 g/kg cellulose, 202-239 g/kg hemicellulose. The Silphium perfoliatum green mass substrates used for anaerobic digestion had a C/N ratio of 19–27, with an optimal content of acid detergent lignin and hemicellulose. The biochemical methane potential varied from 310 to 341 L/kg ODM. The collected dry stems of Silphium perfoliatum, processed into solid fuels such as briquettes and pellets, exhibited optimal ash and volatile matter content, as well as a favorable net calorific value.*

Keywords: *biochemical composition, biochemical methane potential, briquettes, green mass substrates, Silphium perfoliatum.*

INTRODUCERE

Asigurarea cu resurse energetice este un subiect de actualitate la nivel global și regional. Înlocuirea petrolului, cărbunelui, gazelor naturale cu alternative de energie regenerabilă a devenit o problemă globală majoră a secolului XXI și o cheie pentru dezvoltarea unei economii durabile. Sursele de energie din biomasă, cum ar fi tocătura, biocombustibili solizi densificați în formă de brichete și peleți, bioetanolul, biodieselul și producția de biometan, pot juca un rol important în ceea ce privește furnizarea de

energie și prezintă o sursă de energie renovabilă cu efecte pozitive socio-economice și de protecție a mediului înconjurător.

Republica Moldova nu dispune de zăcăminte fosile de petrol și gaze, iar suprafața cu păduri este mică și nu poate asigura necesarul de lemn de foc pentru uz casnic și industrial. Colectarea reziduurilor agricole și producerea de biomasă din culturi energetice pentru obținerea diferitor tipuri de biocombustibili este promițătoare în acest context [1-3].

Silfia (*Silphium perfoliatum* L.) este o plantă erbacee perenă, policarpică, din familia Asteraceae, originară din America de Nord, caracterizată prin fotosinteză de tip C3. Are o tulpină erectă, cu patru muchii, acoperită de perișori, de culoare verde deschis, iar înălțimea plantei variază între 250 și 370 cm. Frunzele bazale sunt prevăzute cu pețiol, având un limb de culoare verde închis. Frunzele de pe tulpină, de culoare verde mai deschis, sunt concrescute și formează o cupă care permite acumularea de rouă, contribuind astfel la valorificarea eficientă a umidității și a radiației solare. Inflorescența este de tip calatidiu, alcătuită din mai multe flori, iar perioada de înflorire este extinsă, cu o durată de aproximativ 51-60 de zile. Această plantă constituie o sursă importantă de polen și nectar pentru albine și alte insecte utile. Fructele se coc neuniform, iar întârzierea recoltării poate duce la pierderi semnificative de semințe. Masa a 1000 de fructe este, în medie, de 22–24 g. *Silphium perfoliatum* se înmulțește prin semințe și răsad. Semănatul se poate efectua toamna târziu, la o adâncime de 3-5 cm, sau primăvara devreme, utilizând semințe în prealabil stratificate. Distanța recomandată între rânduri poate fi de 45 sau 70 cm. Plantulele răsar uniform primăvara și sunt rezistente la înghețurile târzii de sezon. Răsadurile se produc în palete cu substrat și se plantează în luna mai, utilizând mașini de plantat legume, cu o densitate de 70.000-80.000 de plante/ha. O plantanție de *Silphium perfoliatum* poate fi menținută pe același teren timp de 15-20 de ani, cu un potențial productiv de până la 120 t/ha/an de masă proaspătă sau 15-20 t/ha/an de substanță uscată. Specia *Silphium perfoliatum* prezintă interes pentru integrarea în circuitul bioeconomic, fiind studiată și introdusă în cultură în mai multe țări, inclusiv ca plantă energetică[4-19].

Scopul cercetării a constat în determinarea indicilor de calitate a biomasei energetice din plantele de *Silphium perfoliatum*, ca substrat pentru stațiile de biogaz și materie primă pentru obținerea biocombustibililor densificați în formă de brichete și peleți.

MATERIAL ȘI METODĂ

În calitate de obiect de studiu a servit plantele de silfie *Silphium perfoliatum*, soiul local 'Vital', creat la Grădină Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru" a Universității de Stat din Moldova, înregistrat în Catalogul Soiurilor de Plante anul 2012 și brevetat la Agenția de Stat de Proprietate Intelectuală din Republica Moldova în anul 2016. Plante de silfie pentru evaluarea indicilor de calitate ai substratului pentru obținerea biometanului au fost recoltate anul trei de vegetație la demararea înfloririi și în anul șapte de vegetație la finele înfloririi. Pentru a evalua indicii de calitate, plantele de silfie recoltate au fost tocate și deshidratate într-o etuvă cu ventilație forțată la 60°C,

iar după uscarea completă, materialul biologic a fost măcinat fin cu ajutorul unei mori de laborator cu bile. Evaluarea conținutului de proteina brută (CP), cenușă brută (CA), hidrați de carbon structurali și lignină s-a realizat aplicând metoda spectrofotometriei în infraroșu apropiat cu utilizarea echipamentului tehnic PERTEN DA 7200 din cadrul Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști Brașov, România cu metode standardizate. Conținutul de celuloză (Cel) și hemiceluloză (HC) a fost estimat utilizând ecuații recunoscute în literatură. Procentul de carbon din materia organică a fost determinat pe baza formulei propuse de Badger et al. [20]. Potențialul de generare a biogazului și randamentul specific de metan au fost calculate în funcție de conținutul de proteină brută și de compoziția chimică a pereților celulari, lignină sulfurică și hemiceluloză, din masa proaspăt recoltată, conform ecuațiilor publicate de Dandikas et al. [21].

Biomasa uscată tulpini a fost recoltată la începutul lunii martie din parcelele experimentale. Tulpinile de *Silphium perfoliatum* 'Vital' au fost recoltate manual, ulterior fiind tocate la utilajul staționar. Pentru producerea peleților, biomasa tocată a fost măcinată la moara cu ciocane SV7 echipată cu site cu orificii cu diametrul de 4 mm, iar pentru obținerea brichetelor – au fost utilizate site cu orificii cu diametrul de 10 mm. Brichetarea s-a realizat la linia Briklis BrikStar 50, iar peletarea la echipamentul MLG 200 din cadrul Laboratorului de Cercetări Științifice Biocombustibili Solizi al Universității Tehnice din Moldova. Evaluarea indiciilor de calitate a biomasei uscate, a biocombustibilului solid – brichete și peleți – s-a efectuat în conformitate cu standardele în vigoare SM EN ISO 18134, SM EN ISO 18122; SM EN ISO 18125; SM EN ISO 17828, SM EN ISO 18847 [1].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Utilizarea substraturilor vegetale pentru obținerea de biogaz a devenit în ultimele decenii de interes major la nivel global. Generatoarele de biogaz produc de rând cu biometanul, ce urmează a fi utilizat ca sursă de căldură și electricitate, și subproduse valoroase precum digestatul și fugatul, care pot fi utilizate ca un bun fertilizant, bogat în nutrienți disponibili pentru plante, cum ar fi azotul, fosforul și potasiu, care ar putea constitui o alternativă durabilă pentru fertilizanții chimici produși cu utilizarea de combustibili fosili, precum petrolul și gazele naturale.

Este cunoscut faptul că substraturile vegetale pot fi utilizate în generatoarele de biogaz ca masă proaspătă recoltată, dar și ca masă însilozată. Cunoașterea compoziției biochimice a substratului constituie un factor de bază care determină cursul corect al procesului de digestie anaerobă și randamentului de biometan. Bacteriile metanogene necesită de un raport optim de carbon-azot pentru desfășurarea proceselor metabolice, întrucât raporturile mai mari de C/N=30:1 s-au dovedit a fi nepotrivite pentru o digestie optimă, iar raporturile mai mici de 10:1 s-au dovedit a fi inhibitoare, din cauza pH-ului scăzut, a capacității de tamponare slabe și a concentrațiilor mari de amoniac în substrat [22,23]. Datele privitor la indicii de calitate a substratului pentru digestia anaerobă în stațiile de biogaz din plantele recoltate de *Silphium perfoliatum* și potențialul de obținere

a biometanului sunt redate în Tabelul 1. S-a stabilit că substraturile cercetate de *Silphium perfoliatum* se caracterizează printr-un conținut de azot de 18.72-26.56 g/kg și carbon de 506.11-508.89 g/kg, și un raport favorabil pentru buna funcționare a stațiilor de biogaz de C/N= 19.07-27.08. Concentrația de lignină sulfurică variază de la 46 g/kg la 60 g/kg, iar de hemiceluloză de la 202 g/kg la 230 g/kg. Am putea menționa că potențialul estimat de obținere a biometanului variază de la 310 la 341 l/kg materie organică, sau 284-306 l/kg substanță uscată. Substratul de *Silphium perfoliatum* colectat la demararea înfloririi are un conținut redus de lignină sulfurică și poate asigura un potențial biochimic de obținere a biometanului de 341 l/kg materie organică.

Tabelul 1. Indicii de calitate și potențialul de obținere a biometanului din masa proaspătă de de *Silphium perfoliatum* în dependență de perioada recoltării.

Indici	**Anul de vegetație**	
	trei	**șapte**
Carbon, g/kg	506.11	508.89
Azot, g/kg	26.56	18.72
Raportul carbon / azot (C/N)	19.06	27.18
Proteină brută, g/kg	166	117
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	46	60
Cenușă brută (CA), g/kg	89	84
Celuloză (Cel), g/kg	306	316
Hemiceluloză, g/kg	202	279
Potențial biometan, l/kg MO	341	310
Potențial biometan, l/kg SU	306	284

Conform investigațiilor realizate de Vetter și col. [24] randamentul de obținere a metanului în substratul de *Silphium perfoliatum* atinge valori de 133.1-208.3 l/kg or 4583-7567 m^3/ha, iar în substratul de *Zea mays* – 146.6-212.2 l/kg or 4281-8569m^3/ha. Mast și col. [24]au raportat că în dependență de perioada de recoltare a plantelor de *Silphium perfoliatum* randamentul de obținere a metanului variază de la 232 la 274 l/kg materie organică. Gansberger și col. [4]notează că substraturile de *Silphium perfoliatum* pregătite la finele perioadei de înflorire ating un potențial de biometan de circa 260 l/kg substanță uscată. Haag și col. [6]au stabilit că randamentul de obținere a metanului în substratul de *Silphium perfoliatum* este de aproximativ 227-251 L/kg materie organică. Herrmann și col. [25] remarcă că substratul de silfie se caracterizează printr-un raport carbon azot de C/N=35-46, iar potențialul de biometan variază de la 181.6 ia 237.6l/kg materie organică. Vishnevskaya [7] a stabilit că, în dependență de norma de fertilizare, substraturile de *Silphium perfoliatum* prezintă un potențial de 232- 235 l/kg materie organică sau 3065-4715 m^3/ha. Ruf & Emmerling [8] reportează că potențialul biochimic de metan a substraturilor din plantele de silfie variază de la 236 la 282 l/kg materie organică. Ustak & Muñoz [10] au stabilit că potențialul de biometan a substratului de *Silphium perfoliatum* atinge 276 l/kg materie organică. Zhang și col. [11] notează că

substratul de *Silphium perfoliatum* prezintă un potențialul de biometan de 228- 345 l/kg materie organică. Siwek și col. [14] reportează că potențialul biochimic a de obținere a biogazului în substraturile de silfie variază de la 483 la 504 L/kg substanță uscată, cu o concentrație de biometan de 51.1-52.9%. Peni și col. [15] au stabilit că potențialul de biometan în substraturile de *Silphium perfoliatum* variază de la 193.59 la 243.61 L/kg substanțe volatile. Von Cossel și col. [16] menționează că substratul de S*ilphium perfoliatum* are o concentrație 34.6 % fibra detergent acidă, 52.0 % fibră detergent neutru, 6.7% lignină sulfurică, 37.9% celuloză, 7.4% hemiceluloză, 9.2% cenușă cu un randament specific de metan de 264.7 l/kg materie organică. Witaszek și col. [18]menționează că substratul de *Silphium perfoliatum* netratat conține 665.6 g/kg substanțe uscate, 82.53% materie organică, 21.62 % lignină, 30.96% celuloză, 22.6 % hemiceluloză cu un randament de metan de 204 L/kg, pe când substratul tratat conține 725.9-903.4 g/kg substanțe uscate, 83.47-87.74% materie organică, 19.71-23.68 % lignină, 21.07-30.49% celuloză, 18.41-20.56 % hemiceluloză, iar potențialul de biometan atinge valori de 244-255 l/kg. Kemmann și col. [19] au stabilit că potențialul de biometan în substratul din plantele de silfie atinge 296.8 ± 50.6 l/kg substanțe volatile, comparativ cu potențialul de biometan de 383.3 ± 37.4 l/kg substanțe volatile a substratului de porumb. Baumgart și col. [28] reportează că randamentul de obținere a metanului în substraturile de *Silphium perfoliatum* variază în dependență de perioada de recoltare, de la 167 la 257 l/kg materie organică.

În rezultatul cercetărilor efectuate s-a stabilit că plantele de *Silphium perfoliatum*, recoltate în perioada de repaus, luna Martie, au un conținut de umiditate în tulpini de 9.74-10.84%, și pot fi utilizate la fabricarea de biocombustibili solizi densificați în formă de brichete și peleți. Indicii de calitate a biomasei și biocombustibililor solizi din plantele de *Silphium perfoliatum* șunt prezentați în Tabelul 2. S-a stabilit că biomasa tocată de *Silphium perfoliatum* are un conținut de cenușă de 3.01- 4.54% și valoare calorică brută de 18.54-18.72 MJ/kg. Brichetele obținute se caracterizează printr-o încărcătură energetică de 15.03-15.45 MJ/kg energie netă și densitatea în vrac de 533-541 kg/m^3, iar peleții obținuți au o densitate în vrac de 555-575 kg/m^3 și încărcătură energetică de 15.11-15.48 MJ/kg energie netă. Conform datelor prezentate de Frączek și col. [29], biomasa de silfie tocată are o densitate specifică de 210 kg/m^3, valoare energetică de 17.3 MJ/kg și un conținut de cenușă de 3.4%, brichetele produse au o densitate specifică de 920 kg/m^3 și o durabilitate de 93.1%. Bury și col. [30] raportează că biomasa de *Silphium perfoliatum* conține 3.10% - 4.08% cenușă, 33.7-34.5% carbon, 1.37-1.62% azot, 0.06-0.07% fosfor, 0.08-0.09% potasiu, 0.05-0.09% sulf și are o valoarea calorifică netă de 16.26 -16.95 MJ/kg. Peni et. al. [16] menționează că biomasa de *Silphium perfoliatum* conține 8.47% cenușă, 24.47% celuloză, 14.80% celuloză, 8.29% lignină, 18.51% carbon fixat, 73.02% materii volatile, 17.73MJ/kg energie netă. Šurić et al. [31] raportează că biomasa de *Silphium perfoliatum* se caracterizează printr-o concentrație de 5.86% cenușă, 9.28% carbon fixat, 74.45% materii volatile, 15.46 MJ/kg energie brută și 14.54 MJ/kg energie netă. Tóth [32] a stabilit că tulpinile de silfie conțin 31.3-48.94% fibră în detergent acid, 7.21-12.54% lignină sulfurică, 24.11-37.30% celuloză, 2.33-5.75% hemiceluloză, 34.94-54.69% fibră în detergent neutru și 15.21-16.79 MJ/kg energie brută [24]. Witaszek și col. [18] raportează că plantele de

Silphium perfoliatum recoltate conțin 7.17% umiditate, 15.78 MJ/kg energie brută și 14.08 MJ/kg energie netă. În cercetările noastre anterioare (Țîței, 2023) s-a stabilit că biomasa de silfie se caracterizează printr-o concentrație de 3.0-3.83% cenușă, 45.07% carbon, 0.21% azot, 5.96% hidrogen, 0.03% sulf, 18.65 MJ/kg energie brută, 16.7 MJ/kg energie netă, iar biocombustibilii solizi au o densitate specifică de 949-1048 kg/m^3 [33].

Tabelul 2. Proprietățile fizice și mecanice a biomasei și biocombustibililor solizi din plantele de *Silphium perfoliatum.*

Indici	**Anul de vegetație**	
	trei	**șapte**
Umiditatea tulpinilor recoltate,%	9.74	10.64
Densitatea în vrac a biomasei tocate, kg/m^3	78.00	58.80
Densitatea în vrac a biomasei măcinate pentru brichetare , kg/m^3	146.10	122.80
Densitatea în vrac a biomasei măcinate pentru peletare, kg/m^3	149.65	142.80
Conținut de cenușă în biomasa măcinată , %	3.01	4.24
Conținut de materii volatile în biomasa măcinată, %	79.10	76.40
Valoarea calorifică brută în biomasa măcinată, MJ/kg	18.72	18.54
Valoarea calorifică netă în biomasa măcinată, MJ/kg	17.43	17.21
Densitatea în vrac pentru brichete, kg/m^3	540.90	533.20
Densitatea în vrac pentru peleți, kg/m^3	575.00	555.00
Valoarea calorifică netă pentru brichete, MJ/kg	15.45	15.03
Valoarea calorifică netă pentru peleți, MJ/kg	15.48	15.11

CONCLUZII

Soiul local ‘Vital’ de *Silphium perfoliatum*, recoltat în al treilea an de vegetație, se remarcă printr-un conținut ridicat de proteină brută și un nivel redus de carbohidrați structurali. Biomasa acestei specii prezintă un echilibru optim între proteina brută și carbohidrații structurali, ceea ce o face potrivită ca substrat pentru producerea biometanului în stațiile de biogaz, contribuind astfel la generarea de energie regenerabilă.

Tulpinile soiului ‘Vital’, recoltate în perioada de repaus vegetativ (luna martie), au un conținut de umiditate cuprins între 9,74-10,84% și un conținut de cenușă între 3,01 și 4,24%. Aceste caracteristici permit recomandarea acestui soi pentru fabricarea de biocombustibili solizi densificați, precum brichetele și peleți. Produsul finit are o valoare calorifică netă între 15,03–15,48 MJ/kg și o densitate în vrac de 533–575 kg/m³, reprezentând astfel o alternativă viabilă la lemnul de foc colectat din pădure.

REFERINȚE:

1. MARIAN, G. *Biocombustibili solizi, producere şi proprietăţi*. “Bons Offices” Publishing House, Chişinău, 2016. ISBN 978-9975-87-166-2.

2. ȚÎȚEI, V., ROȘCA, I. *Bunele practici de utilizare a terenurilor degradate în cultivarea culturilor cu potențial de biomasă energetică*: Ghid practic pentru producătorii agricoli. Chișinău, 2021. 80p. ISBN 978-9975-87-778-7
3. DARADUDA N. *Valorificarea biomasei culturilor energetice pentru producerea biocombustibililor solizi densificați.* Teză de doctor în științe inginerești. Chișinău, 2024. 174p. *https://anacec.md/files/Daraduda-teza.pdf*
4. GANSBERGER, M., MONTGOMERY, L.F.R., LIEBHARD, P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: a review. In: *Industrial Crops and Products*. 2015. no. 63, p. 362-372.
5. CUMPLIDO-MARIN, L., GRAVES, A.R., BURGESS, P.J., MORHART, C., PARIS, P., JABLONOWSKI, N.D., FACCIOTTO, G., BURY, M., MARTENS, R., NAHM, M. 2020. Two novel energy crops: *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L.-state of knowledge. In: *Agronomy*. no.10 (7):928. DOI: *https://doi.org/10.3390/agronomy10070928* (Accesat la 15.05.2025)
6. HAAG, N.L., NAEGELE, H-J., REISS, K., BIERTÜMPFEL, A., OECHSNER, H. Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). In: *Biomass and Bioenergy*. 2015. no.75, p. 126–133.
7. VISHNEVSKAYA O.V. 2017. Alternative sources of vegetative mass for biofuels in Polissia zone. In: *Agricultural Science and Practice*. no.4(3), p.35-42.
8. RUF, T., EMMERLING, C. Biomass partitioning and nutrient fluxes in *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping systems. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, no.124(3), p.389-405.
9. ȚÎȚEI, V. Plant species for renewable energy production in the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Series A. Agronomy,* 2015, no.58, p:425-431. ISSN 2285-5750
10. USTAK, S., MUNOZ, J. Cup-plant potential for biogas production compared to reference maize in relation to the balance needs of nutrients and some microelements for their cultivation. In: *Journal of Environmental Management*. 2018. no. 228: 260–266.
11. ZHANG, Y., KUSCH-BRANDT, S., SALTER, A.M., HEAVEN, S. Estimating the methane potential of energy crops: an overview on types of data sources and their limitations. In: *Processes* 2021, 9, 1565. https:// doi.org/10.3390/pr9091565 (Accesat la 15.05.2025).
12. ENDE L.M.; LAUERER M. Spreading of the cup plant (*Silphium perfoliatum*) in northern Bavaria (Germany) from bioenergy crops. In: *NeoBiota*, 2022, no.79, p.87–105.
13. ȚÎȚEI V. The mobilization of energy crop resources in Moldova. In. *Romanian Agricultural Research*. 2023. no.40, p.646-654. *https://www.incda-fundulea.ro/rar/nr40/rar40.3.pdf*
14. SIWEK, H., WŁODARCZYK, M., MOŻDŻER, E., BURY, M., KITCZAK, T.

2019. Chemical composition and biogas formation potential of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. In: *Applied Sciences*.no. 9, p. 4016. *doi:10.3390/app9194016 (*Accesat la 15.05.2025*).*

15. CÎRLIG, N. Entomofaunistic study on the species *Silphium perfoliatum* L. în the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Section A. Agronomy.* 2022, no.65(2), p. 348-353.
16. PENI, D., DĘBOWSKI, M., STOLARSKI, M.J. Influence of the fertilization method on the Silphium perfoliatum biomass composition and methane fermentation efficiency. In: *Energies*. 2022, no.15, p.927. *https:// doi.org/10.3390/en15030927(*Accesat la 15.05.2025*).*
17. VON COSSEL M., AMARYSTI C., WILHELM H., PRIYA N., WINKLER B., HOERNER L. The replacement of maize (*Zea mays* L.) by cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) as biogas substrate and its implications for the energy and material flows of a large biogas plant. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2020. no. 14(2). 10.1002/bbb.2084 *(*Accesat la 15.05.2025*).*
18. WITASZEK, K., HERKOWIAK, M., PILARSKA, A., CZEKAŁA, W. Methods of handling the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) for energy production. In: *Energies*. no. 15 (5), p. 1897. *https://doi.org/10.3390/en15051897 (*Accesat la 15.05.2025*).*
19. KEMMANN, B., RUF, T., WELL, R., EMMERLING, C., FUB. R. Greenhouse gas emissions from *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping on stagnosols. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. no.186, p.79–94.
20. BADGER, C.M., BOGUE, M.J., STEWART, D.J. Biogaz production from crops and organic wastes. In*: New Zeland Journal of Science*. 1979. no.22, p.11 -20.
21. DANDIKAS, V., HEUWINKEL, H., LICHTI, F., DREWES, J. E., KOCH, K. Correlation between biogaz yield and chemical composition of grassland plant species. In: *Energy Fuels*. 2015, no. 29(11), p. 7221–7229.
22. CHOI, Y., RYU, J., LEE S.R. Influence of carbon type and carbon to nitrogen ratio on the biochemical methane potential, pH, and ammonia nitrogen in anaerobic digestion. *Journal of Animal Science and Technology*.2020. no. 62(1), p. 74-83. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.74
23. VINTILĂ, T., GHERMAN, V., BURA, M., DRAGOMIRESCU, M., ILIE, D., JULEAN, C., NEO, S. I. Biogas generation from corn stalks and corn stalks bagasse resulted from ethanol production. *Romanian Biotechnological Letters*, 2013, no.*18*(6), p.8812-8822.
24. VETTER, A., CONRAD, M., BIERTÜMPFEL, A.. Energiepflanzen für die Biogasproduktion – Teilvorhaben 2: Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor (Abschlussbericht No. 42.22.430). Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena. 2007. 72p.
25. MAST, B., LEMMER, A., OECHSNER, H., REINHARDT-HANISCH, A.,

CLAUPEIN, W., GRAEFF-HÖNNINGER, S.. Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. In: *Industrial Crop and Products*. 2014. no. 58, p.194–203.

26. HERRMANN, C., IDLER, C., HEIERMANN, M. 2016. Biogas crops grown in energy crop rotations: linking chemical composition and methane production characteristics. In: *Bioresource Technology*. no.206: p.23-30.
27. SIWEK, H., WŁODARCZYK, M., MOŻDŻER, E., BURY, M., KITCZAK, T. 2019. Chemical composition and biogas formation potential of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. In: *Applied Sciences*.no. 9, p. 4016. *doi:10.3390/app9194016 (*Accesat la 15.05.2025*).*
28. BAUMGART, M., HÜLSEMANN, B., SAILER, G., OECHSNER, H., MÜLLER, J. Effects of harvest date and ensiling additives on the optimized ensiling of *Silphium perfoliatum* to prevent faulty fermentation. In: *Agriculture*, 2024, 14, 1363. *https://doi.org/10.3390/agriculture14081363 (*Accesat la 15.05.2025*).*
29. FRĄCZEK, J., MUDRYK, K., WRÓBEL, M. *Rożnik przerośnięty Silphium perfoliatum* L. –źródło biomasy do produkcji biopaliw stałych. (Cup plant *Silphium perfoliatum* L.-biomass source for biofuels production). In: *Inżynieria Rolnicza*, 2011, no.6(131), p.21-27.
30. BURY, M., MOZDZER, E., KITCZAK, T., SIWEK, H., WLODARCZYK, M. 2020. Yields, calorific value and chemical properties of cup plant *Silphium perfoliatum* L. biomass, depending on the method of establishing the plantation. In: *Agronomy*. 10 (6): 10060851. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy10060851 *(*Accesat la 15.05.2025*).*
31. ŠURIĆ, J., ŠIC ŽLABUR, J., PETER, A., BRANDIĆ, I., VOĆA, S., DUJMOVIĆ, M., LETO, J., VOĆA, N. 2022. Energy vs. nutritional potential of virginia mallow (*Sida hermaphrodita* L.) and cup plant *(Silphium perfoliatum* L.). In: *Plants*. 2023. no.11, p.2906. *https://doi.org/10.3390/plants112129 06 (*Accesat la 15.05.2025*).*
32. TÓTH, Š. Ligno-cellulose quality and calorific value of green phytomass of *Silphium perfoliatum* L. cultivated on marginal soils under conditions of moderate continental climate of Central Europe. In: *Journal of Central European Agriculture*. 2023. no. 24(2), p.391-402.
33. ŢÎŢEI V. 2023. The mobilization of energy crop resources in Moldova. In. *Romanian Agricultural Research*. 2023. no.40, p.646-654. *https://www.incda-fundulea.ro/rar/nr40/rar40.3.pdf* .

N.B. *Suport în realizarea cercetărilor proiectul de cercetare ”Mobilizarea resurselor genetice vegetale, ameliorarea soiurilor de plante și valorificarea lor ca și culturi furajere, melifere și energetice în circuitul bioeconomic” cu cifrul 20.80009.5107.02 și subprogramul,, Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară” cu cifrul 010102.*

EFECTUL STRESULUI DE SECETĂ ASUPRA MOBILIZĂRII SUBSTANȚELOR DE REZERVĂ ÎN TIMPUL GERMINĂRII SEMINȚELOR ALE DIFERITELOR SOIURI DE GRÂU

THE EFFECT OF DROUGHT STRESS ON THE MOBILIZATION OF RESERVE SUBSTANCES DURING SEEDS GERMINATION OF DIFFERENT WHEAT VARIETIES

CZU: 632.112:[631.547.1:633.11] **https://doi.org/10.59295/spd2025e.12**

Natalia JELEV
ORCID: 0000-0002-1664-6055
E-mail: natalia.jelev@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Alexandru DASCALIUC
ORCID: 0000-0003-3210-6144
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andrei GOREA
ORCID: 0000-0002-8569-0658
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Five wheat varieties (Triticum aestivum L.) were studied under laboratory conditions to observe the mobilization of seed reserves for seedling growth under both optimal and drought conditions. The effect of drought on seedling growth was assessed by determining the amount of reserves mobilized, depleted, and respired from seeds during germination. Under drought conditions, the highest seed reserve mobilization was observed in the cultivars Moldova 614 and Moldova 16, while respiration efficiency was higher in the Meleag cultivar compared to the others. However, it was found that in Meleag, the high loss of reserves through respiration under simulated drought conditions resulted in reduced seedling growth. The results showed that during drought, greater mobilization of seed reserves combined with minimal loss through respiration contributed to improved seedling growth in the Bijuteria Zâmbrenilor, Moldova 614 and Moldova 16 varieties. Therefore, efficient reserve mobilization and reduced respiratory losses during seedling growth are essential indicators of drought tolerance.*

Keywords: *water stress, drought tolerance, wheat varieties, polyethylene glycol.*

INTRODUCERE

Schimbările climatice globale, manifestate prin creșterea temperaturii medii și

scăderea cantităților de precipitații, conduc la extinderea suprafețelor afectate de secetă la nivel global. Stresul hidric afectează terenurile agricole din întreaga lume [1], limitând semnificativ distribuția și productivitatea plantelor în aceste ecosisteme.

Clima Republicii Moldova este moderat continentală, însă prezintă o variabilitate ridicată, atât din punct de vedere geografic, cât și interanual. Variațiile semnificative ale cantității totale de precipitații, precum și ale distribuției acestora pe parcursul anului, generează deficite hidrice în timpul perioadei de vegetație a culturilor agricole, în aproape toate regiunile țării. Aceste condiții s-au accentuat în ultimii ani din cauza încălzirii globale.

Potrivit managerului Oficiului Schimbarea Climei din cadrul Ministerului Mediului, temperatura medie anuală a aerului va continua să crească în Republica Moldova în următoarele decenii. Acest fenomen se va manifesta printr-un spor al temperaturii medii la suprafața solului. Modelele climatice indică faptul că această creștere ar putea varia între 2°C și 5,3°C, ceea ce va duce la intensificarea și creșterea frecvenței fenomenelor climatice extreme. În consecință, cantitățile de precipitații vor scădea, iar perioadele de secetă vor deveni din ce în ce mai îndelungate.

Prin urmare, rezistența la secetă rămâne una dintre cele mai stringente probleme ale agriculturii din Republica Moldova, cu atât mai mult cu cât frecvența anilor secetoși și pagubele provocate culturilor agricole se vor intensifica odată cu evoluția schimbărilor climatice globale. Prelungirea perioadelor de secetă va afecta semnificativ dezvoltarea plantelor, având un impact negativ asupra productivității cerealelor, inclusiv a grâului – una dintre cele mai importante culturi la nivel mondial.

Pentru a pronostica răspunsul culturii de grâu la încălzirea globală și deficitul ulterior de apă, precum și pentru a elabora strategii eficiente de gestionare a riscurilor, este necesară identificarea proceselor care determină toleranța plantelor la condițiile nefavorabile de mediu. În acest context, este esențială realizarea unor cercetări științifice privind modul în care stresul cauzat de secetă afectează caracteristicile funcționale ale plantelor și relațiile lor ecologice [2].

Utilizarea unor metode experimentale artificiale pentru generarea stresului de secetă este indispensabilă pentru o cercetare mai detaliată a acestui fenomen. Seceta poate fi indusă prin diverse modele, inclusiv prin aplicarea polietilenglicolului (PEG) [3]. Inducerea stresului hidric la plante este posibilă prin utilizarea unui polimer neionic solubil în apă, care nu pătrunde în celulele plantei [4].

Numeroase studii au raportat identificarea genotipurilor de grâu tolerante la secetă prin aplicarea unor concentrații variate de PEG-6000 și observarea variațiilor statistic semnificative ale diferitelor trăsături în stadiul de plantulă [5, 6, 7]. Atunci când grâul este supus unui stres hidric moderat până la sever, se produc modificări semnificative ale caracteristicilor sale morfologice, fiziologice și biochimice. Efectele secetei asupra proprietăților funcționale ale plantelor variază în funcție de nivelul lor de rezistență [8].

Grâul și alte culturi sunt frecvent expuse la stres termic și hidric în diverse stadii de dezvoltare, în special în timpul germinației semințelor și creșterii timpurii a plantulelor, ceea ce afectează translocarea substanțelor de rezervă din semințe către embrion [9, 10, 11, 12]. Acești parametri au potențialul de a fi utilizați ca indicatori valabili pentru screening-ul și selecția genotipurilor de grâu rezistente la secetă [13, 14].

Cercetările noastre au fost orientate spre evaluarea reacției a cinci soiuri de grâu la condițiile de secetă induse prin aplicarea polietilenglicolului (PEG). Pentru identificarea soiurilor cu rezistență sporită la secetă, au fost analizate efectele PEG-6000 asupra mai multor caracteristici metabolice.

MATERIALE ȘI METODE

În anul 2024, în condiții de laborator, a fost investigat efectul stresului de secetă asupra indicilor de mobilizare a substanțelor de rezervă în semințele a cinci soiuri de grâu: Meleag, Moldova 16, Moldova 614, Bijuteria Zâmbrenilor și Lăutarii. Semințele au fost recoltate în anul 2023 de pe câmpul experimental al Institutului de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor din cadrul Universității de Stat din Moldova.

Pentru a studia influența stresului de secetă, simulat prin aplicarea polietilenglicolului 6000 (PEG-6000), asupra germinării semințelor și creșterii plantulelor, din fiecare soi a fost prelevat un eșantion de 120 de semințe. Semințele au fost sterilizate cu etanol 80% timp de 2 minute. Ulterior, eșantionul fiecărui soi a fost împărțit în două variante: martor și experimentală, fiecare conținând câte 60 de semințe. Fiecare variantă a fost constituită din patru repetiții, fiecare repetiție cu 20 de semințe.

Semințele au fost cântărite și plasate secvențial, în ordinea numerelor de identificare, între două discuri dreptunghiulare de hârtie de filtru Whatman Nr. 1, în caserole. Pe hârtia de filtru s-au adăugat 10 ml de apă distilată sau soluție de 15% PEG 6000, iar soluția sau apa distilată au fost reînnoite în a 3-a și a 6-a zi. Caserolele au fost acoperite cu capace, care, la rândul lor, au fost sigilate cu cleme speciale pentru a preveni evaporarea lichidelor. Pentru germinare, semințele au fost incubate în întuneric, la o temperatură de 22 ± 1,0°C, timp de 10 zile.

Plantulele obținute au fost recoltate și supuse separării: lăstarii și rădăcinile au fost izolate de semințele rămase. Atât semințele, cât și plantulele au fost uscate la 105°C, după care au fost cântărite pe o balanță analitică (Sartorius CP224S) pentru determinarea masei uscate totale. Rezerva mobilizată din semințe reprezintă cantitatea de substanțe de rezervă transferată din endosperm către rădăcini și lăstari în curs de creștere. Procentul de epuizare a rezervei din semințe a fost calculat ca raportul dintre masa rezervelor mobilizate și masa inițială uscată a semințelor [15]. Rezerva mobilizată, procentul de epuizare a rezervei și eficiența respirației au fost calculate conform următoarelor formule [16]:

1. Rezerva mobilizată din semințe (mg/semință) = (masa uscată inițială a semințelor – masa uscată rămasă în semințe)/Numărul de semințe;

2. Rezerva epuizată din semințe (%) = (masa rezervei de semințe mobilizate/ masa inițială a semințelor) x 100;

3. Eficiența respirației din semințe (%) = (masa inițială a semințelor – masa uscată a plantulei)/masa inițială a semințelor x100 [14].

Toate datele au fost analizate utilizând testul Duncan, prin intermediul pachetului software Statistica 10. Diferențele cu valori p mai mici de 0,05 au fost considerate semnificative.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Un rol determinant în succesul germinării semințelor și în creșterea timpurie a plantulelor îl are procesul de mobilizare a substanțelor de rezervă din endosperm către embrion. Acest proces se desfășoară prin transformarea substanțelor de rezervă de greutate moleculară mare în compuși solubili în apă, sub acțiunea catalitică a enzimelor. Substanțele obținute prin hidroliza enzimatică a rezervelor sunt utilizate treptat în procesele de formare a plantei. O parte din aceste substanțe, rezultate prin descompunerea substratului respirator, sunt eliberate sub formă de energie necesară transportului substanțelor în interiorul seminței.

Toate aceste procese, implicate în mobilizarea rezervelor, depind în mare măsură de condițiile de cultivare ale semințelor și pot varia în funcție de factorii de mediu nefavorabili. Dintre aceștia, cel mai frecvent întâlnit în țara noastră este seceta. Aceasta reprezintă un factor care reduce rata de aprovizionare cu apă și alte substraturi esențiale pentru creșterea plantelor [17, 18].

În cadrul acestui studiu, stresul de secetă, indus prin utilizarea soluției de 15% PEG 6000, a avut un efect negativ asupra mobilizării rezervelor în timpul germinației semințelor a cinci soiuri de grâu comun de toamnă.

Figura 1 prezintă diagramele care ilustrează conținutul substanțelor de rezervă mobilizate din endospermul semințelor pe parcursul germinării și a creșterii ulterioare a plantulelor, după 10 zile de cultivare în condiții optime (martor) și în condiții de secetă (PEG 6000). Din această figură se observă că mobilizarea rezervelor în semințele martor a fost relativ omogenă în toate cele cinci soiuri în condiții optime de germinare. În schimb, stresul hidric a determinat o reducere semnificativă a mobilizării substanțelor de rezervă, evidențiind impactul negativ al acestuia.

Deficitul hidric a avut un efect mult mai pronunțat asupra mobilizării rezervelor în semințele soiului Meleag, comparativ cu celelalte soiuri analizate. Analiza comparativă a rezistenței la stresul hidric indică faptul că soiurile considerate mai rezistente (Bijuteria Zâmbrenilor, Moldova 614, Moldova 16) prezintă cele mai ridicate valori ale mobilizării substanțelor de rezervă în condiții de stres.

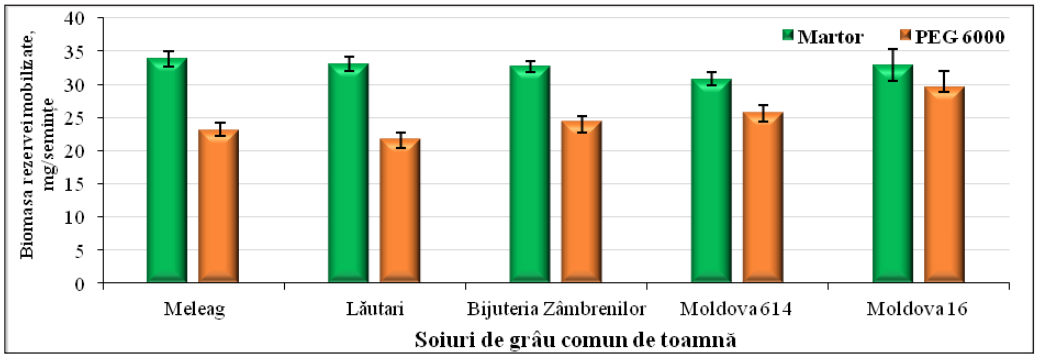


Figura 1. Conținutul substanțelor de rezervă mobilizate din endospermul semințelor în timpul germinării și al dezvoltării timpurii a plantulelor, determinat în a zecea zi de cultivare în condiții optime (martor) și sub stres hidric indus cu PEG 6000

Determinarea epuizării substanțelor de rezervă din semințele supuse stresului abiotic, analizată în a zecea zi de expunere (Figura 2), evidențiază o tendință similară celei observate pentru mobilizarea rezervelor. Stresul hidric a redus semnificativ epuizarea substanțelor de rezervă, valorile obținute fiind mai mici comparativ cu cele ale martorului.

În urma aplicării stresului hidric, în aproximativ 40% dintre soiuri, epuizarea rezervelor a scăzut cu circa 24,9–27,7%, iar în peste 50% dintre soiuri s-a înregistrat o diminuare a acestui parametru cu 6–18,2% față de martor. Soiurile Bijuteria Zâmbrenilor, Moldova 16 și Moldova 614 s-au remarcat prin valori ridicate ale acestui indice, între 54,8% și 60,85%.

Este important de menționat că soiurile pot fi clasificate mai precis în funcție de rezistența lor la stresul hidric utilizând indicele mobilizării substanțelor de rezervă, comparativ cu indicele epuizării substanțelor de rezervă în semințe în timpul germinației sub influența stresului hidric.

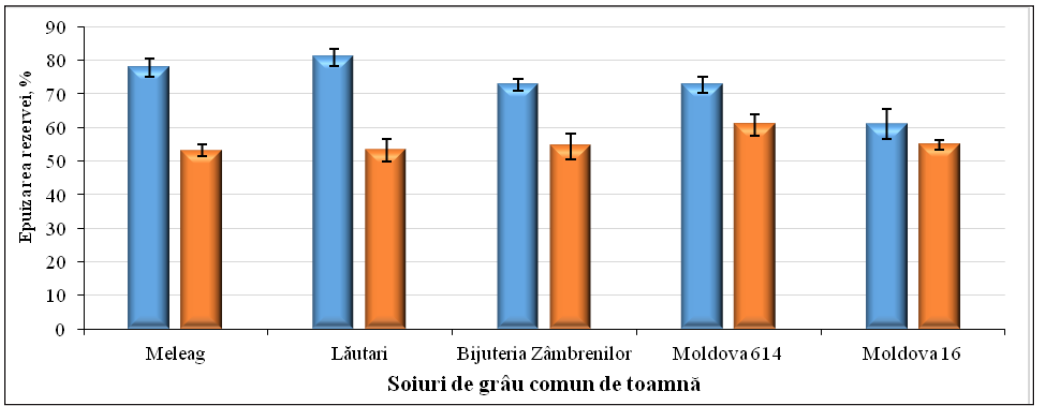


Figura 2. Procentul de epuizare a substanțelor de rezervă din semințele a cinci soiuri de grâu pentru germinarea semințelor și creșterea plantulelor în condiții normale și de stres hidric

Analiza datelor prezentate în Figura 1 a permis diferențierea soiurilor studiate în funcție de rezistența lor la stresul hidric, pe baza capacității de mobilizare a substanțelor de rezervă din semințe. Aceste rezultate au stat la baza studiului ratei consumului masei endospermului prin respirație pentru formarea masei uscate a plantulelor, în condiții optime și de stres hidric, la cele cinci soiuri cu rezistențe diferite.

Datele din Figura 3 indică faptul că cea mai redusă proporție din masa endospermului consumată în respirație se înregistrează la soiurile caracterizate printr-o rezistență ridicată la germinarea semințelor [19] și o mobilizare eficientă a substanțelor de rezervă în condiții de stres hidric (conform rezultatelor din Figura 1). Această observație poate fi explicată printr-o pierdere mai mică de materie uscată consumată prin respirație pentru aceeași cantitate de materie uscată translocată către plantule, în cazul soiurilor rezistente la secetă, comparativ cu soiurile sensibile.

Analiza datelor indică variații semnificative ale eficienței respirației în cele cinci soiuri de grâu, atât în condiții optime (martor), cât și sub stres hidric indus prin PEG 6000. În condițiile martor, eficiența respirației variază între 47,41% (Lăutari) și 65,98% (Moldova 16), evidențiind diferențe marcante între soiuri în capacitatea de utilizare a rezervelor energetice. Sub stres hidric, eficiența respiratorie crește în toate soiurile, cu valori cuprinse între 66,37% (Lăutari) și 73,44% (Meleag), ceea ce reflectă o intensificare a procesului respirator necesară pentru generarea energiei suplimentare implicate în adaptarea la deficitul de apă. Meleag prezintă cea mai mare creștere a eficienței respirației, de la 58,76% la 73,44%, sugerând o reacție adaptativă prin intensificarea metabolismului energetic. Deși soiurile Lăutari și Moldova 614 au cele mai scăzute valori în ambele condiții, acestea manifestă o creștere semnificativă sub stres, indicând un răspuns metabolic comun la secetă. Moldova 16 menține cea mai ridicată eficiență respiratorie în condiții optime și păstrează un nivel ridicat sub stres, sugerând o rezistență intrinsecă superioară la stresul hidric.

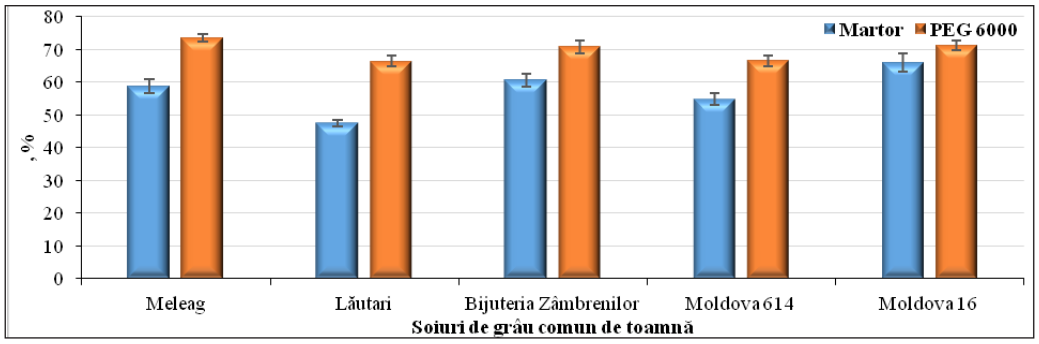


Figura 3. Rata biomasei din endosperm utilizată în procesul de respirație pentru formarea unei unități de masă uscată în plantulele de grâu în a zecea zi de cultivare, în condiții optime (martor) și sub stres hidric indus cu PEG 6000

Comparativ, eficiența respirației și mobilizarea substanțelor de rezervă au variat semnificativ între cele cinci soiuri de grâu studiate, atât în condiții optime, cât și sub stres hidric indus de PEG 6000. În condiții control (martor), soiurile au prezentat o gamă largă a eficienței respirației, indicând diferențe inerente în metabolismul energetic și capacitatea de utilizare a rezervelor endospermului. Sub influența stresului hidric, toate soiurile au înregistrat o creștere a eficienței respirației, ceea ce denotă un răspuns comun de intensificare a proceselor metabolice pentru susținerea adaptării la condițiile adverse. Cu toate acestea, magnitudinea răspunsului a fost diferită: Meleag a manifestat cea mai mare creștere procentuală a eficienței respirației, sugerând o strategie metabolică puternic activată pentru a contracara deficitul de apă. În contrast, soiurile Lăutari și Moldova 614 au avut atât valori absolute mai scăzute, cât și o creștere mai moderată, ceea ce poate indica o sensibilitate mai scăzută la stresul hidric. Pe de altă parte, soiul Moldova 16 a demonstrat o eficiență respiratorie ridicată în ambele condiții, indicând o capacitate intrinsecă superioară de utilizare a rezervelor în condiții variate, un caracter esențial pentru toleranța la secetă. Aceste diferențe confirmă faptul că eficiența respirației și mobilizarea substanțelor de rezervă sunt parametri relevanți ai rezistenței la stresul hidric și pot fi utilizați pentru clasificarea și selecția soiurilor în programele de ameliorare.

Rezultatele prezentate în figura 4 reflectă impactul stresului hidric asupra acumulării de biomasa uscată în plantulele provenite din cinci soiuri de grâu. Comparativ cu varianta martor, toate soiurile au înregistrat o reducere a biomasei plantulelor în condiții de stres indus prin PEG 6000, confirmând efectul negativ al deficitului de apă asupra creșterii timpurii.

Cea mai pronunțată scădere a biomasei s-a observat la Meleag, care a înregistrat o reducere de aproximativ 35,6%. Această reducere accentuată sugerează o sensibilitate crescută la stresul hidric în faza de germinare și creștere inițială. În contrast, soiul Moldova 16 a manifestat o capacitate superioară de menținere a biomasei sub stres, cu o reducere relativ moderată de doar 15,3%, indicând o toleranță mai ridicată la deficitul de apă. Acest soi a înregistrat cea mai mare valoare a biomasei uscate (15,53 mg) în condiții de PEG, ceea ce poate reflecta o eficiență mai bună a utilizării resurselor mobilizate din semințe și o strategie fiziologică adaptativă mai robustă. Soiurile Lăutari, Bijuteria Zâmbrenilor și Moldova 614 au prezentat reduceri ale biomasei între 26–36%, soiul Lăutari fiind cel mai afectat după soiul Meleag, iar soiul Moldova 614 reușind să-și mențină o valoare intermediară (14,18 mg) în condiții de stres.

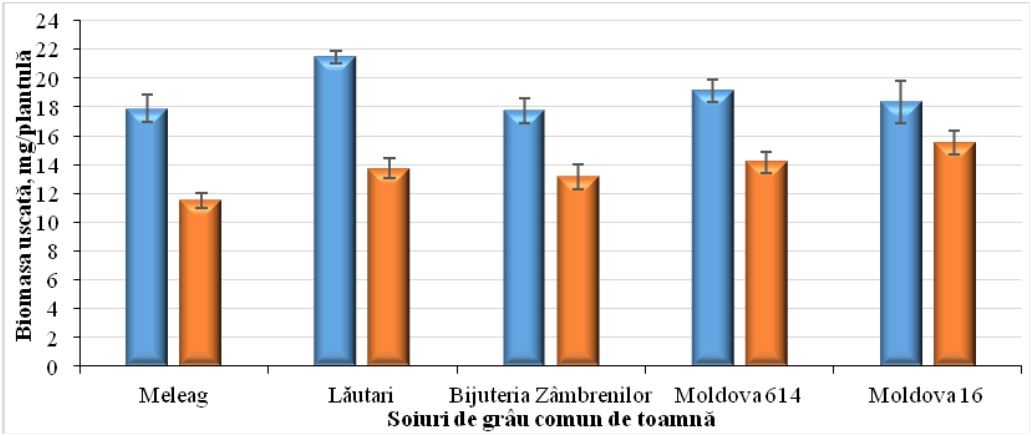


Figura 4. Biomasa uscată a plantulelor a fost măsurată în a zecea zi de germinare în condiții optime (martor) și sub stres hidric indus prin soluție de 15% PEG 6000

Reducerea biomasei uscate a plantulelor sub stres hidric evidențiază sensibilitatea soiurilor la condițiile de secetă în stadiile incipiente de dezvoltare. Soiul Moldova 16 s-a remarcat prin cel mai bun comportament, ceea ce poate fi utilizat pentru selecție în programele de ameliorare a toleranței la secetă. În schimb, soiul Meleag ar putea necesita îmbunătățiri genetice sau management agronomic specific pentru a-i crește performanța în condiții limitative.

CONCLUZII

Studiul de față a evidențiat că eficiența mobilizării substanțelor de rezervă din semințe și pierderile minime prin respirație în timpul germinării și al dezvoltării timpurii a plantulelor reprezintă parametri importanți în evaluarea toleranței la secetă a grâului. Valorile ridicate ale biomasei uscate și ale rezervelor mobilizate, corelate cu un consum respirator eficient, indică o utilizare optimă a resurselor metabolice sub stres hidric.

Soiurile *Moldova 16*, *Moldova 614* și *Bijuteria Zâmbrenilor* au demonstrat un răspuns favorabil la deficitul de apă, manifestând o capacitate superioară de conservare a biomasei și o mobilizare eficientă a rezervelor, ceea ce le recomandă ca fiind tolerante la secetă. În contrast, soiul *Meleag* a prezentat sensibilitate ridicată, evidențiată prin pierderi accentuate de masă uscată și eficiență respiratorie scăzută în condiții de stres.

Creșterea eficienței respirației în prezența PEG 6000 sugerează o intensificare a proceselor metabolice implicate în adaptarea plantulelor la stresul hidric, reflectând diferențe genetice între genotipuri. Aceste trăsături pot fi valorificate în programele de selecție pentru ameliorarea toleranței la secetă, în contextul actual al schimbărilor climatice care afectează grav randamentul culturilor agricole.

REFERINȚE:

1. SHAHRYARI, R., MOLLASADEGHI, V. Introduction of two principle components for screening of wheat genotypes under end seasonal drought. In: *Advances in Environmental Biology.* 2011. nr. 5, p. 519-522. ISSN 1995-0756.
2. TODAKA, D., ZHAO, Y., YOSHIDA, T. et al. Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions. In: *The Plant Journal*. 2017. nr. 90, p. 61–78. ISSN 0960-7412.
3. FERNADES, R.C., Morphologically accessing wheat genotypes in response to drought on early stages of development. In: *Plant Sciences*. 2020. vol. 10, p. 105-113. ISSN 2237-4027. DOI: 10.26814/cps2020014.
4. DUCA, M., CLAPCO, St, MUTU, A., MARTEA, R. Abordări metodologice în studiul stresului hidric la plante. În: *Studia Universitatis Moldaviae*. 2024. nr. 1. ISSN 1814-3237. DOI 10.59295/sum1(171)2024_22.
5. TODOROVA, D., KATEROVA, Z., SHOPOVA, E. et al. The physiological responses of wheat and maize seedlings grown under water deficit are modulated by pre application of auxin-type plant growth regulators. In: *Plants,* 2022. nr. 11, p. 3251. ISSN 2223-7747.
6. GUIZANI, A. et al., Drought responsiveness in six wheat genotipes: identification of stress rezistance indicators. In: *Plant Science*. 2023. p. 01-17. ISSN 0168-9452. DOI 10.3389/fpls.2023.1232583.
7. BHUTTO, L. A., OSBORNE, C. P., AND QUICK, W. P. Osmotic adjustment and metabolic changes under drought stress conditions in wheat (*Triticum aestivum* l.) genotypes. In: *Pak. J. Bot*. 2023. nr. 55, p. 915–923. https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(22.
8. SALLAM, A. et al., Screening wheat genotypes for specific genes linked to drought tolerance. In: *Genes*. 2024. nr. 15, p. 1-13. ISSN 2073-4425. https://doi.org/10.3390/.
9. JELEV, N. Influența șocului termic asupra ratei substanțelor de rezervă alocate de semințele de grâu pentru germinare și creștere. În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții.* 2021, vol. 343, nr.1, p. 60-69. ISSN 1857-064X. https://doi.org/10.52388/1857-064X.2021.1.08.
10. ЖЕЛЕВ, Н., ДАСКАЛЮК, А., ЖЕЛЕВ, Д. Ускоренная оценка устойчивости генотипов озимой пшеницы (Triticum aestivum L.) к отрицательным температурам. В: *Журнал Агрофизика*. 2020, № 4, с. 27-32. ISSN 2222-0666. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.04.05.
11. DASCALIUC, A., JELEV, N., RALEA, T. at al. Mobilization of reserve substances of seeds for germination and growth of seedlings in wheat varieties with different frost resistance. În: *Journal of Academy of Sciences of Moldova.*

Life Sciences. 2020, nr. 2(341), p. 54-66. ISSN 1857-0011. http://bsl.asm.md/article/id/121094.

12. CAUȘ, M. Efectul stresului de temperatură negativă asupra mobilizării rezervelor din semințe pentru germinare și creșterea timpurie a plantulelor diferitor hibrizi de porumb. În: *Studia Universitatis Moldaviae*. 2024, nr 6 p. 79-84. ISSN 1814-3237. https://doi.org/10.59295/sum6(176)2024_10.
13. SIKDER, S., PAUL, N. Study of influence of temperature regimes on germination characteristics and seed reserves mobilization in wheat. In: *International Journal of Plant Breeding and Genetics*. 2020, vol.7, nr. 10, p. 001-008. ISSN 2305-297X.
14. KHATUN, S. et al., Physiological mechanism of thermotolerance in wheat (Triticum aestivum L.) seedlings. In: *American Journal of Plant Scences*, 2018. nr. 9, p. 2719-2727. ISSN 2158-2750.
15. SOLTANI, A., GHOLIPOOR, M. ZEINALI, E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. In: *Environmental and Experimental Botany*. 2006. Nr. 55, p. 195-200. ISSN 0098-8472. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012.
16. HARB, A.M. Reserve mobilization, total sugars and proteins in germinating seeds of durum wheat (*Triticum durum* desf.) under water deficit after short period of imbibitions. In: *Jordan Journal of Biological Sciences*. 2013. 6, p. 67-72. ISSN 1995-6673.
17. SOYEMA, K., AHMED, J.U., MOHI-UDDIN, M. Variation of wheat cultivars in their relationship between seed reserve utilization and leaf temperature under elevated temperature. In: *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2015. nr. 18, p. 97-101. ISSN 1975 – 9479.
18. HE, M. et al., Comparative proteome analysis of embryo and endosperm reveals central differential expression proteins involved in wheat seed germination. In: *BMC Plant Biology*. 2015, vol. 15, nr.97, p.1-17. ISSN 1471-2229. DOI: 10.1186/s12870-015-0471-z.
19. JELEV, N. Influența deficitului hidric asupra germinării semințelor unor genotipuri de grâu. In: *Genetics, physiology and plant breeding:materials international scientific conference*, 7-8 october, 2024. VIII-th Edition. Chisinau. 2024, p. 445-449. ISBN 978-9975-56-695-7.

N.B. *Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 011101 „Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.*

CERCETĂRI ALE INTERACȚIUNILOR *PATOGENI FUNGICI – GRÂU COMUN*

RESEARCH ON *FUNGAL PATHOGENS – COMMON WHEAT* INTERACTIONS

CZU: 632.4:633.111 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.13**

Galina LUPAȘCU
ORCID: 0000-0003-3363-3595
E-mail: galina.lupascu@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nicolae CRISTEA
ORCID: 0009-0008-7259-3884
E-mail: nicolae.cristea@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Svetlana GAVZER
ORCID: 0000-0001-9435-1159
E-mail: svetlana.gavzer@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The article presents data on the action of some pathogenic fungi (Fusarium oxysporum, F. solani, F. culmorum, Drechslera sorokiniana, Alternaria alternata) on the growth characteristics of common wheat (germination, %; embryonic radicle length, mm; stem length, mm; seedling length, cm). Objectives: to establish the response of wheat plants to the action of pathogens. Research methods: treatment of common wheat grains with fungal culture filtrates; morphometric analyses; statistical data processing: bi- and trifactorial analysis of variance. Main results: quantification of the factorial contribution of plant genotype, species and fungal isolate in the source of variation of growth and development traits of common wheat.*

Keywords**:** *factorial analysis, pathogenic fungus, wheat.*

INTRODUCERE

Interacțiunile dintre plante și ciuperci pot avea efecte benefice sau dăunătoare asupra plantelor gazdă, contribuind la diferitele schimbări atât la nivelul plantei, cât și al ciupercii. Agenții patogeni fungici din plante sunt importanți din punct de vedere economic datorită amenințării pe care o reprezintă pentru producția și randamentul culturilor

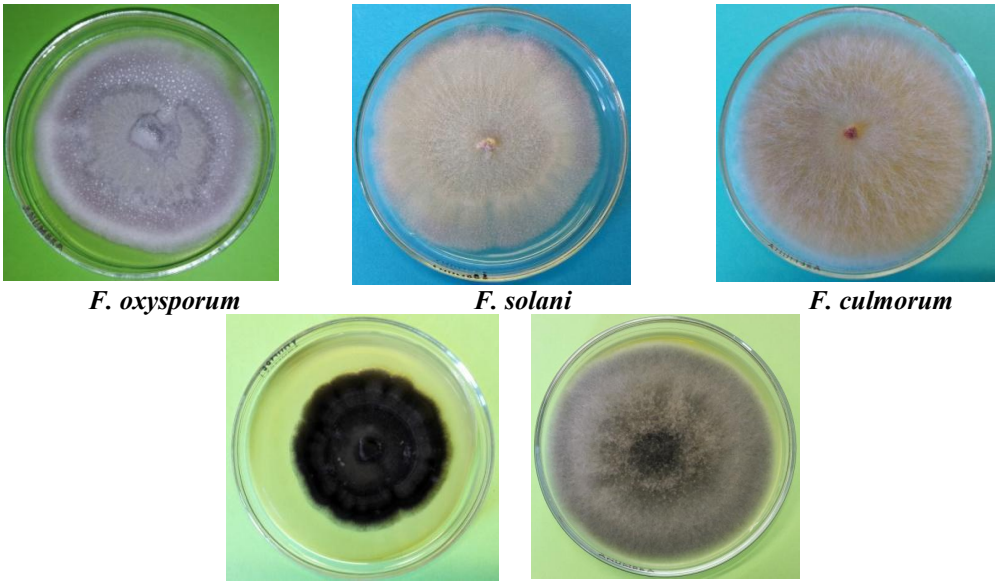
agricole. Reducerea sau prevenirea bolilor fungice ale plantelor depinde în mare parte de planta gazdă și modul în care răspunde la patogen. Interacțiunile *plante-fungi* urmează a fi cunoscute pentru a înțelege mecanismele bolilor plantelor cauzate de ciuperci, prevenirea acestora și pentru a îmbunătăți productivitatea plantelor [1].

Încorporarea rezistenței genetice în plantele de cultură este considerată cea mai eficientă și sustenabilă soluție de contracarare a putregaiului de rădăcină. Totodată rezistența adesea este de natură cantitativă, adică variabilă și dependentă de condițiile de mediu. Unele studii genetice pentru diferite culturi au identificat loci ai caracterelor cantitative (QTL – *Quantitative Trait Loci*) asociați cu rezistența [2].

Scopul cercetărilor a constat în identificarea particularităților de interacțiune a unor patogeni fungici cu grâul comun.

MATERIAL ȘI METODĂ

În studiu au fost utilizate izolate de fungi *Fusarium oxysporum, F. solani, F. culmorum, Drechslera sorokiniana, Alternaria alternata* (figura 1) și 10 genotipuri ce prezintă linii de perspectivă şi soiuri de grâu comun de toamnă cu indici înalți de productivitate seminceră a spicului – Amor, Centurion, Miranda, L Select/BȚ43-42/Select, L M/Od.27/M79, Moldova 16, Moldova 66, Moldova 55, M79/M/Od.27, Moldova 614.



F. oxysporum ***F. solani*** ***F. culmorum***

Figura 1. Colonii de fungi

Izolatele fungilor au fost extrase din plante de grâu comun de toamnă cu semne de putregai la baza tulpinii pe mediu nutritiv solid PDA (*Potatoes Dextrosis Agar*).

Filtratele de culturi (FC) fungice au fost preparate pe baza mediului lichid Cszapek [3].

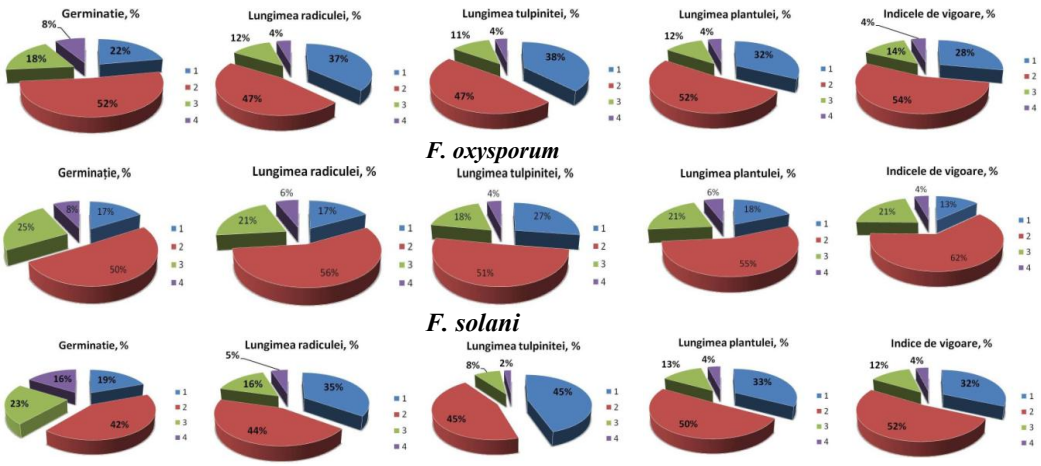
Boabele de grâu au fost tratate cu FC timp de 18 ore după care au fost clătite cu apă distilată și cultivate în cutii Petri pe durata a 6 zile la temperatura 22-24°C. Analiza morfometrică a plantulelor s-a efectuat pentru capacitatea de germinare a boabelor (%), lungimea radiculei embrionare (mm), lungimea tulpiniței (mm). Datele au fost prelucrate în pachetul de soft STATISTICA 7.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analiza morfometrică a organelor de creștere și dezvoltare (*germinație, lungimea radiculei, lungimea tulpiniței, lungimea plantulei*) cu privire la reacția a 10 genotipuri de grâu la tratarea boabelor cu filtrate de culturi *F. oxysporum, F. solani, F. culmorum, D. sorokiniana, A. alternata* (fiecare specie reprezentată de 3 izolate), a demonstrat următoarele: i) lipsă de reacție, inhibare sau stimulare în cazul fungilor *F. oxysporum, F.solani*; ii) lipsă de reacție sau stimulare semnificativă la interacțiunea cu *F. culmorum*; iii) lipsă de reacție sau inhibare (mai frecvent în cazul *D. sorokiniana*) și stimulare, funcție de genotip, organ de creștere și izolată la interacțiunea cu *D. sorokiniana* și *A. alternata*.

Particularitățile de interacțiune *plantă – patogen*, se stabilesc cu succes prin analiză factorială – o procedură multidimensională care evidențiază rolul factorilor independenți în variabilitatea factorului dependent [4].

Prin analiză bifactorială a variației s-a demonstrat că ponderea în sursa de variație a *genotipului de grâu, izolatei, interacțiunilor genotip x fung* a constituit: i) 22-38%, 47-54%, 11-18%, în cazul fungului *F. oxysporum*; ii) 17-27%, 50-62%, 18-25% – *F. solani*; iii) 19-45%, 42-52%, 8-23% – *F. culmorum*; iv(38-45%, 34-39%, 12-19% – *D. sorokiniana*; v) 24-51%, 36-49%, 10-19% – *A.alternata*, respectiv (figura 2).



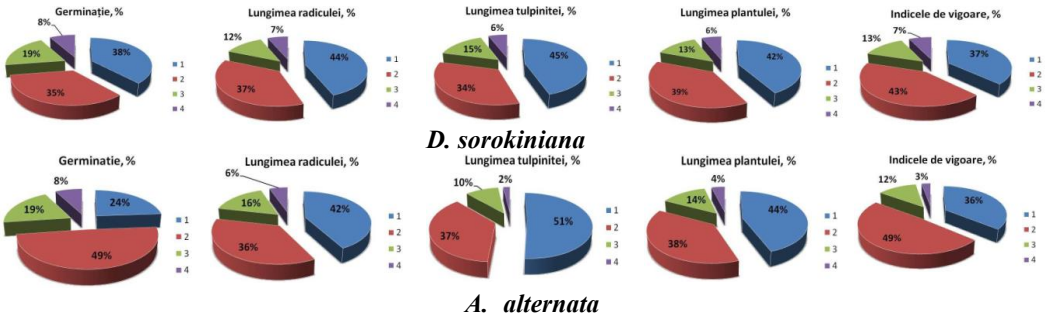


Figura 2. Analiza factorială a sursei de influență în diferite fitopatosisteme *genotip de grâu – fung*

Studiul amplu al acțiunii unor fungi frecvent implicați în dezvoltarea putregaiului de rădăcină la grâul comun de toamnă – *F. oxysporum, F. solani, F. culmorum, D. sorokiniana, A.alternata* pe baza acelorași 10 genotipuri și în aceleași condiții (controlate), a stat la baza suportului metodologic pentru o analiză multidimensională mai complexă – analiza trifactorială a relațiilor genotip de grâu – izolata fungului (tabelul 1).

Tabelul 1. Ponderea factorială a genotipului de grâu comun, speciei și izolatei fungilor patogeni în capacitatea de creștere și dezvoltare a plantelor

Sursă de variație (SV)	Grad de libertate	Suma medie a pătratelor	F	p	Ponderea în SV, %
Germinație					
Genotip de grâu	9	139*	3,9	0,000	10,40
Specie de fung	4	464*	13,2	0,000	34,73
Izolata fungului	2	255*	7,2	0,001	19,09
Genotip de grâu x specie de fung	36	113*	3,2	0,000	8,46
Genotip de grâu x izolată	18	73*	2,1	0,001	5,46
Specie de fung x izolată	8	177*	5,0	0,000	13,25
Genotip x specie x izolată	72	80*	2,3	0,000	
Efecte aleatorii	300	35			
Lungimea radicului					
Genotip de grâu	9	1204*	2,11	0,000	19,01
Specie de fung	4	3438*	34,58	0,000	54,27
Izolata fungului	2	289	2,91	0,056	4,56
Genotip de grâu x specie de fung	36	271*	2,71	0,000	4,28
Genotip de grâu x izolată	18	72*	0,73	0,784	1,14

Specie de fung x izolată	8	741*	7,45	0,000	11,70
Genotip x specie x izolată	72	221*	2,22	0,000	3,49
Efecte aleatorii	300	99			1,56
Lungimea tulpiniței					
Genotip de grâu	9	479,4*	20,92	0,000	23,28
Specie de fung	4	1048,5*	45,77	0,000	50,91
Izolata fungului	2	34,5	1,51	0,223	1,68
Genotip de grâu x specie de fung	36	80,2*	3,50	0,000	3,89
Genotip de grâu x izolată	18	26,3	1,15	0,303	1,28
Specie de fung x izolată	8	307,0*	13,40	0,000	14,91
Genotip x specie x izolată	72	63,9*	2,79	0,000	3,10
Efecte aleatorii	300	22,9			1,11
Lungimea plantulei					
Genotip de grâu	9	22,08*	10,48	0,000	14,69
Specie de fung	4	88,26*	41,9	0,000	58,73
Izolata fungului	2	4,79	2,27	0,105	3,19
Genotip de grâu x specie de fung	36	5,81*	2,76	0,000	3,87
Genotip de grâu x izolată	18	1,98	0,94	0,532	1,32
Specie de fung x izolată	8	20,32*	9,65	0,000	13,52
Genotip x specie x izolată	72	4,94*	2,34	0,000	3,29
Efecte aleatorii	300	2,11			1,4
Indicele de vigoare					
Genotip de grâu	9	274395*	9,96	0,000	12,27
Specie de fung	4	1268417*	46,04	0,000	56,71
Izolata fungului	2	167569*	6,08	0,003	7,49
Genotip de grâu x specie de fung	36	84551*	3,07	0,000	3,78
Genotip de grâu x izolată	18	33337	1,21	0,251	1,49
Specie de fung x izolată	8	306789*	11,14	0,000	13,72
Genotip x specie x izolată	72	74231*	2,69	0,000	3,32
Efecte aleatorii	300	27549			1,23

*- <0,05.

Analiza trifactorilaă a ponderii componenților fitopatosistemului în sursa de variație a caracterelor luate în studiu, a demonstrat că rolul (%) genotipului a variat în limitele 10,4 ... 23,3%, speciei de fung – 37,7 ... 58,7, izolatei fungului – 1,68 ... 19,1%.

Variabilitatea pronunțată a ponderii factoriale este determinată de plasticitatea fenotipică specifică a organelor de creștere la acțiunea factorului biotic. De exemplu, cei

mai înalți indici ai factorului de genotip (16,8 ... 19,4%) s-au înregistrat în cazul caracterelor cu creștere și reacții defensive pronunțate – radicula embrionară și tulpinița, iar cel mai diminuat – în cazul germinației bobelor care nu deține mecanisme de declanșare rapidă a reacțiilor de apărare.

Rolul înalt al factorului de specie a fungului denotă dependența înaltă a manifestării bolilor (putregaiului de rădăcină, a bazei tulpinii, ofilirii plantelor, șiștăvirii boabelor, etc) de agentul cauzal concret ca parte a complexului fungic.

Ponderea destul de înaltă a interacțiunilor *specie de fung – izolată* (11,7 ... 14,9%) relevă rolul important al asocierii speciei cu anumită izolată pentru declanșarea bolilor specifice.

CONCLUZII

Datele obținute relevă rolul important al factorului de specie de fung în sursa de variație a germinației, lungimii radiculei, lungimii tulpiniței, lungimii plantulei, indicelui de vigoare: 34,7; 54,3; 50,9; 58,7; 56,7% respectiv. Pentru 3 caractere – lungimii radiculei, lungimii tulpiniței, lungimii plantulei următorul factor semnificativ a fost factorul genotipic: 19; 23,3; 14,7%, respectiv. Ponderea interacțiunilor *grâu – specie de fung* în sursa de variație a celor 5 caractere a variat în limitele 3,8 ...8,5%.

Astfel, în scopul aprecierii și identificării genotipurilor de grâu rezistente la putregaiul de rădăcină este necesară monitorizarea constantă a speciilor de fungi care cauzează boala în fiecare regiune concretă, cu elucidarea particularităților de reacție a plantelor la fiecare specie de fung, prezentată de diferite izolate, în special a caracterelor cu vulnerabilitate pronunțată, precum radicula embrionară.

REFERINȚE:

1. GEETHA, K., DATHAR, V. Plant–Fungal Interactions. In: Applied Mycology, 2022, pp. 271-285. DOI:10.1007/978-3-030-90649-8_13
2. WILLIAMSON-BENAVIDES, B.A., DHINGRA, A. Understanding Root Rot Disease in Agricultural Crops. In: *Horticulturae,* 2021, *7*(2), p. 33. doi.org/10.3390/horticulturae7020033
3. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982, 550 с.
4. SHARIFI, P., ASTEREKI, H., POURESMAEL, M. Evaluation of variations in chickpea *(Cicer arietinum* L.) yield and yield components by multivariate technique. In: *Annals of Agrarian Science*. 2018. Vol. 16. Issue 2, pp. 136-142. doi:10.1016/j.aasci.2018.02.003.

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul proiectului 23.70105.5107.04 „Identificarea și valorificarea genitorilor valoroși de culturi agricole în crearea unei baze genetice autohtone de interes socio-economic” (2024-2025), finanțat de ANCD.*

ACTIVITATEA ANTIFUNGICĂ A UNOR DERIVAȚI VINIL-TRIAZOLICI CĂTRE *FUSARIUM LATERITIUM* (W.G. SM.) SACC IN VITRO

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SOME VINYL-TRIAZOLE DERIVATIVES AGAINST *FUSARIUM LATERITIUM* (W.G. SM.) SACC IN VITRO

CZU: 547.792:582.282 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.14**

Lucian LUPAȘCU
ORCID: 0000-0001-5006-5265
E-mail: lucian.lupascu@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Svetlana GAVZER
ORCID: 0000-0001-9435-1159
E-mail: svetlana.gavzer@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nicolae CRISTEA
ORCID: 0009-0008-7259-3884
E-mail: nicolae.cristea@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina LUPAȘCU
ORCID: 0000-0003-3363-3595
E-mail: galina.lupascu@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Eugenia STÎNGACI
ORCID: 0000-0003-0731-3424
E-mail: eugenia.stingaci@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Marina ZVEAGHINȚEVA
ORCID:0000-0003-1553-5246
E-mail: marina.zveaghinteva@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Natalia SUCMAN
ORCID: 0000-0001-8733-3040
E-mail: natalia.sucman@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Fliur MACAEV
ORCID: 0000-0002-3094-1990
E-mail: fliur.macaev@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary: Objectives*: identification of new compounds with antifungal activity for the phytopathogenic fungus Fusarium lateritium.* ***Methods****: the isolation of F. latertium strains was made in aseptic conditions on Potatoes Dextrose Agar medium, with a following identification of the species based on macro- and microscopic features. Vinyl-triazole compounds (DVT): EPS-165, MZ-155, MZ-118, EPS-23 were added to the nutrient medium PDA in concentrations of 0,00125% .. 0,02%, sterilized by autoclaving. To appreciate the inhibitory action of the searched preparations, the method of recording the diameter of the growing colonies was utilized.* ***Results****: The compounds EPS-165 and MZ-155 are bringing large possibilities for their use in the plant protection measures against the fungus F. lateritium. The factorial analysis showed that in the system F. lateritium x D.V.T. x concentration, the main source of variation in fungal growth is the D.V.T concentration (34.7 ...48.3%), then the compound factor (33.7 ... 35.6%), which are showing the differential resistance of F. lateritium strains to the action of the compounds under study.*

Keywords: *activity, inhibition, vinyl-triazole compounds, fungi.*

INTRODUCERE

Genul Fusarium este considerat unul dintre cele mai semnificative genuri fungice, cuprinzând conform unor date peste 330 de specii [1]. Agenții patogeni Fusarium sunt omniprezenți și asociați în principal cu bolile plantelor. Aceștia reprezintă subiectul unei mari preocupări economice în agricultură din cauza pierderilor de recolte cauzate de contaminarea boabelor de cereale cu micotoxine. Speciile de *Fusarium* sunt, de asemenea, considerate agenți ai infecțiilor micotice umane și animale, având un spectru larg de manifestări clinice la pacienții imunocompromiși. Fitopatogenii Fusarium infectează o mare varietate de plante și provoacă simptome, de la creșterea încetinită, putrezirea fructelor sau semințelor, îngălbenirea și ofilirea frunzelor și a cancerelor până la putrezirea rădăcinilor sau tulpinii. Identificarea acestor ciuperci este dificilă din cauza tendinței lor pleomorfice (***variabilitate morfologică***) și a prezenței atât a tulpinilor homotalice (***identice)***, cât și a celor heterotalice (***deosebite***) la aceeași specie, la fel ca și identificarea lor la nivel de specie din cauza variației dintre izolate. În mare parte, bolile Fusarium sunt dificil de controlat, deoarece ciupercile depășesc cu ușurință rezistența gazdei la diverse metode de control [2].

Multe specii *Fusarium* sunt agenți patogeni ai plantelor, agenți patogeni oportuniști umani și animali sau produc micotoxine dăunătoare oamenilor și animalelor, având im-

pact asupra securității și siguranței alimentare [3]. *Fusarium lateritium* este un agent patogen al plantelor distribuit la nivel global [4], care produce cele mai diverse tulburări în organismul vegetal datorită numeroșilor metaboliți fitotoxici. Specia *F. lateritium* ocupă o poziție semnificativă din punct de vedere istoric în cadrul genului *Fusarium*, autorul Nees introducând pentru prima dată numele speciei în 1817 [5].

Pesticidele utilizate în combaterea fuzariozelor au numeroase dezavantaje, determinate de pierderea efectului antifungic sub influența condițiilor de mediu și dezvoltarea destul de rapidă a rezistenței microorganismelor. În legătură cu aceste fenomene, cercetările în domeniu sunt orientate spre identificarea noilor compuși cu activitate antimicrobiană largă [6].

MATERIAL ŞI METODĂ

Izolarea tulpinilor de *F. lateritium* s-a efectuat în condiţii aseptice pe mediu PDA (*Potatoes Dextrosis Agar*) din plante de grâu comun cu semne de necroze la baza tulpinii [7]. Identificarea patogenilor s-a efectuat în baza caracteristicilor macro- şi microscopice ale acestora conform determinatoarelor [8]. În studiu au fost utilizate tulpinile de *F. lateritium*/10, *F.l.*/17; *F.l.*/19. Derivaţii vinil-triazolici (DVT): EPS-165, MZ-155, MZ-118, EPS-23 au fost suplimentați la mediul nutritiv PDA în concentrațiile 0,00125 … 0,02%, aseptizat prin autoclavare la presiunea de 0,5 atm timp de 30 min. Mediul aseptizat, fierbinte s-a turnat în cutii Petri, câte 10 ml în fiecare. După solidificarea mediului, fungii au fost însămânțați – câte un disc de PDA cu miceliul fungului, cu diametrul de 4 mm în centrul cutiei Petri. Cutiile cu fungii însămânțați au fost menținute în termostat la temperatura de 24°C. Înregistrarea diametrului coloniilor (câte 2 diametre perpendiculare, media cărora a servit ca indice biometric) s-a efectuat din ziua 3-7 de la însămânțare. Experiențele s-au efectuat în 4 repetiții. Datele au fost prelucrate statistic în pachetul de soft STATISTICA 7.

REZULTATE ŞI DISCUŢII

Conform datelor prezentate în tabelul 1, în ultima zi de cultivare la tulpina de fung *F. lateritium 10* cele mai înalte proprietăți inhibitorii le-a prezentat preparatul EPS-165, urmat de preparatele MZ- 155, MZ-118 și EPS-23. Gradul de inhibiție a celui mai activ compus a prezentat 40,9-81,6% în raport cu martorul, în intervalul de concentrații 0,00125-0,02%.

Tabelul 1. Influența unor derivați vinil-triazolici asupra creșterii coloniilor tulpinii de fung *Fusarium lateritium 10*

Variantă	**Concentrație, %**	**$x \pm m_x$, mm**	**Inhibare/ stimulare (-/+), %**	**$x \pm m_x$, mm**	**Inhibare/stimulare (-/+), %**
Ziua 6				Ziua 7	
Martor	-	55,9±0,3	-	68,5±1,1	-

EPS-165	0,02	10,9±0,4*	-80,5	12,6±0,6*	-81,6
	0,01	15,6±0,5*	-72,1	18,8±0,7*	-72,6
	0,005	23,9±0,4*	-57,3	27,3±1,2*	-60,2
	0,0025	26,9±0,7*	-51,9	33,0±0,2*	-51,8
	0,00125	34,9±0,8*	-37,6	40,5±0,5*	-40,9
MZ-118	0,02	27,8±2,6*	-50,3	34,8±2,4*	-49,2
	0,01	37,1±0,5*	-33,6	43,5±0,4*	-36,5
	0,005	42,8±0,7*	-23,4	48,8±1,8*	-28,8
	0,0025	42,9±0,5*	-23,3	50,4±0,8*	-26,4
	0,00125	47,9±1,9*	-14,3	55,9±1,7*	-18,4
MZ-155	0,02	15,8±0,6*	-71,7	18,9±0,6*	-73,4
	0,01	25,0±1,3*	-55,3	28,1±0,9*	-59,0
	0,005	32,5±0,5*	-41,9	36,9±0,7*	-46,1
	0,0025	45,8±1,3*	-18,1	51,6±0,9*	-24,7
	0,00125	49,4±1,0*	-11,6	58,3±1,4*	-14,9
EPS-23	0,02	27,6±0,5*	-50,6	31,9±0,5*	-53,4
	0,01	47,4±1,0*	-15,2	57,1±1,7*	-16,6
	0,005	46,4±0,5*	-17,0	56,0±0,3*	-18,2
	0,0025	50,0±0,5*	-10,6	59,5±0,7*	-13,1
	0,00125	51,5±2,0*	-7,9	61,3±2,1*	-10,5

*- diferență de martor ($p<0,05$).

În cazul tulpinii *F. lateritium 17,* cele mai înalte proprietăți inhibitorii le-a prezentat preparatul MZ-115 în concentrațiile 0,01-0,02%, inhibiția reprezentând 47,8-63,8% în raport cu martorul. Este de menționat că spre deosebire de tulpina *F.l.*/10, s-au manifestat și stimulări ale creșterii fungului, cu excepția concentrației 0,02% (Tabelul 2).

Tabelul 2. Influența unor derivați vinil-triazolici asupra creșterii coloniilor tulpinii de fung *Fusarium lateritium 17*

Variantă	**Concentrație, %**	**$x\pm m_{x,}$ mm**	**Inhibare/ stimulare (-/+), %**	**$x\pm m_{x,}$ mm**	**Inhibare/ stimulare (-/+), %**
Ziua 6				Ziua 7	
Martor	-	46,0±1,6	-	50,8±0,9	-
EPS-165	0,02	13,5±3,0*	-70,7	21,7±2,3*	-57,3
	0,01	26,9±3,6*	-41,5	37,5±1,9*	-26,2
	0,005	36,8±2,3*	-20,0	47,2±2,8	-7,1
	0,0025	43,1±1,4	-6,3	50,9±0,3	+0,2
	0,00125	47,9±0,5	+4,1	56,3±0,6*	+10,8

MZ-118	0,02	23,6±2,6*	-48,7	30,5±3,1*	-40,0
	0,01	43,3±2,3	-5,9	51,9±1,7	+2,2
	0,005	45,0±3,1	-2,2	53,6±2,8	+5,5
	0,0025	48,6±1,8	+5,6	56,5±2,0*	+11,2
	0,00125	50,5±1,6*	+9,8	59,1±1,3*	+16,3
MZ-155	0,02	15,6±1,5*	-66,1	18,4±1,3*	-63,8
	0,01	21,8±0,8*	-52,6	26,5±0,9*	-47,8
	0,005	43,3±1,0*	-5,9	50,1±0,5	-1,4
	0,0025	56,8±2,0*	+23,5	68,6±1,6*	+35,0
	0,00125	58,4±1,5*	+26,9	67,1±1,4*	+32,1
EPS-23	0,02	25,0±0,7*	-45,7	30,8±1,4*	-39,4
	0,01	68,1±1,2*	+48,0	80,3±1,2*	+58,0
	0,005	71,8±0,5*	+56,1	82,9±0,2*	+63,2
	0,0025	70,8±1,5*	+53,9	80,6±1,6*	+58,6
	0,00125	71,4±1,5*	+55,2	81,3±1,0*	+60,0

*- diferență de martor ($p<0,05$).

În ceea ce privește tulpina de fung *F. lateritium 19* cele mai înalte proprietăți inhibitorii le-a prezentat preparatul EPS-165, urmat de preparatele MZ-155, MZ-118 și EPS-23. Gradul de inhibare a celui mai activ compus a prezentat 18,6-77,4% în raport cu martorul, în intervalul de concentrații 0,00125-0,02% (Tabelul 3).

Tabel 3. Influența unor derivați vinil-triazolici asupra creșterii coloniilor tulpinii de fung *Fusarium lateritium 19*

Variantă	**Concentrație, %**	**$x \pm m_{x,}$ mm**	**Inhibare/ stimulare (-/+), %**	**$x \pm m_{x,}$ mm**	**Inhibare/ stimulare (-/+), %**
Ziua 6				Ziua 7	
Martor	-	59,1±0,4	-	69,4±0,4	-
EPS-165	0,02	10,4±1,4*	-82,4	15,7±0,6*	-77,4
	0,01	22,5±1,2*	-61,9	29,0±0,7*	-58,2
	0,005	36,1±0,6*	-38,9	43,8±1,2*	-36,9
	0,0025	42,9±1,2*	-27,4	51,8±1,4*	-25,4
	0,00125	47,5±1,1*	-19,6	56,5±0,9*	-18,6
MZ-118	0,02	40,0±1,7*	-32,3	50,5±1,0*	-27,2
	0,01	46,9±1,0*	-20,7	55,6±0,8*	-19,9
	0,005	51,6±0,6*	-12,7	61,5±1,2*	-11,4
	0,0025	51,1±1,7*	-13,5	60,3±2,5*	-13,1
	0,00125	53,8±1,1*	-9,0	62,5±0,7*	-9,9

MZ-155	0,02	23,5±1,0*	-60,2	29,1±1,2*	-58,0
	0,01	37,3±0,9*	-36,9	44,1±1,4*	-36,5
	0,005	50,9±2,8*	-13,9	60,9±3,2*	-12,3
	0,0025	52,5±1,3*	-11,2	63,6±1,0*	-8,4
	0,00125	54,4±1,2*	-8,0	64,6±1,5*	-6,9
EPS-23	0,02	36,9±0,7*	-37,6	44,9±0,9*	-35,3
	0,01	49,4±2,1*	-16,4	59,1±1,9*	-14,8
	0,005	51,3±1,0*	-13,2	62,4±0,9*	-10,0
	0,0025	54,8±1,5*	-7,3	65,6±2,3*	-5,5
	0,00125	53,3±0,8*	-9,8	65,0±0,6*	-6,4

*- diferență de martor ($p<0,05$).

Pentru identificarea mai exactă a ponderii factorilor în sistemul *fung x compus x concentrație* în sursa de variație a creșterii izolatelor de *F. lateritium*, s-a purces la analiza trifactorială pe durata creșterii izolatelor (Tabelul 4).

Tabel 4. Ponderea factorială a compusului, concentraţiei derivaţilor vinil-triazolici, izolatei în capacitatea de creştere a ciupercii *F. lateritium*

Sursă de variaţie	**Grad de libertate**	**Suma medie a pătratelor**	**F**	**P**	**Ponderea în sursa de variaţie a creșterii ciupercii, %**
Ziua 3					
Izolată	2	440,28	115,23	0,000	11,97
Compus (structură)	3	1275,51	333,83	0,000	34,67
Concentraţie	4	1707,55	446,90	0,000	46,42
Izolată x compus	6	139,89	36,61	0,000	3,8
Izolată x concentrație	8	43,87	11,48	0,000	1,19
Compus x concentrație	12	53,49	14,00	0,000	1,45
Izolată x compus x concentrație	24	14,32	3,75	0,000	0,39
Efecte aleatorii	180	3,82			0,10
Ziua 4					
Izolată	2	725,5	123,25	0,000	11,25
Compus (structură)	3	2171,6	368,90	0,000	33,68
Concentraţie	4	3116,3	529,38	0,000	48,34
Izolată x compus	6	210,5	35,76	0,000	3,27
Izolată x concentrație	8	89,7	15,23	0,000	1,39

Compus x concentrație	12	102,2	17,36	0,000	1,59
Izolată x compus x concentrație	24	25,6	4,34	0,000	0,40
Efecte aleatorii	180	5,9			0,10
Ziua 5					
Izolată	2	1378,0	180,13	0,000	13,45
Compus (structură)	3	3562,7	465,71	0,000	34,77
Concentrație	4	4686,0	612,55	0,000	45,73
Izolată x compus	6	274,9	35,94	0,000	2,68
Izolată x concentrație	8	144,2	18,85	0,000	1,41
Compus x concentrație	12	151,9	19,86	0,000	1,48
Izolată x compus x concentrație	24	42,2	5,52	0,000	0,41
Efecte aleatorii	180	7,7			0,08
Ziua 6					
Izolată	2	2016,4	223,94	0,000	13,70
Compus (structură)	3	5241,5	582,10	0,000	35,62
Concentrație	4	6537,6	726,04	0,000	44,43
Izolată x compus	6	393,5	43,70	0,000	2,67
Izolată x concentrație	8	179,6	19,94	0,000	1,22
Compus x concentrație	12	264,7	29,40	0,000	1,80
Izolată x compus x concentrație	24	72,1	8,01	0,000	0,49
Efecte aleatorii	180	9,0			0,06
Ziua 7					
Izolată	2	3186,8	300,84	0,000	16,19
Compus (structură)	3	7002,6	661,05	0,000	35,57
Concentrație	4	8317,9	785,22	0,000	42,25
Izolată x compus	6	443,6	41,88	0,000	2,25
Izolată x concentrație	8	216,3	20,42	0,000	1,10
Compus x concentrație	12	418,6	39,51	0,000	2,13
Izolată x compus x concentrație	24	89,0	8,40	0,000	0,45
Efecte aleatorii	180	10,6			0,05

Astfel, s-a constatat că factorul decizional al inhibării fungilor este concentrația DVT: 42,25 ... 48,34%, urmat de structura compusului DVT: 33,68 .. 35,57% și factorul de izolată: 11,25 ... 16,19%.

CONCLUZII

1. Testarea acțiunii noilor DVT asupra tulpinilor de fungi *F. lateritium* 10, *F.l.* 17, *F.l.*19 a arătat că cel mai puternic efect inhibitoriu posedă preparatul EPS-165 care a inhibat tulpinile *F.l.*10 și *F.l.*19 la nivel de 40,9-81,6% și 18,6-77,4%, respectiv, față de martor, în diapazonul de concentrații 0,00125-0,02%. Față de tulpina de fung *F.l.*17 a aceleași specii, cele mai înalte proprietăți inhibitorii a prezentat compusul MZ-155: 47,8-63,8% în raport cu martorul în intervalul de concentrații 0,01-0,02%. Ambele preparate oferă oportunități de utilizare în măsurile de protecție a plantelor de *F. lateritium.*

2. Analiza factorilă a arătat că în sistemul *F. lateritium* x *DVT x concentrație*, ponderea principală în sursa de variație a creșterii fungului revine concentrației substanței, urmată de structura compusului și izolată.

REFERINȚE:

1. www.fusarium.org [Accessed: 24.06.2025]
2. EKWOMADU, T. I. , MWANZA, M. Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research. In: Agriculture. 2023. 13(9), 1810. https://doi.org/10.3390/ agriculture13091810. ISSN 2077-0472
3. CROUS, P.W. et al. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. In: Stud Mycol. 2021. 98(1), p.1-184(184), doi: 10.1016/j.simyco.2021.100116. ISSN 0166-0616
4. VITALE, S., SANTORI, A., WAJNBERG, E. et al. Morphological and Molecular Analysis of Fusarium lateritium the Cause of Gray Necrosis of Hazelnut Fruit in Italy. In: Phytopatology, 2011, 101, p. 679-686. doi:10.1094/ PHYTO-04-10-0120. ISSN: 0031-949X
5. COSTA, M. M. et al. Known from trees and the tropics: new insights into the *Fusarium lateritium* species complex. In: Stud Mycol. 2024. 109, p. 403–450. doi: 10.3114/sim.2024.109.06. ISSN 0166-0616
6. HARBA, M., JAWHAR, M., ARABI, M.I.E. *In Vitro* Antagonistic Activity of Diverse *Bacillus* Species Against *Fusarium culmorum* and *F. solani* Pathogens. In: Agriculture Journal. 2020, vol. 14, doi: 10.2174/1874331502014010157, ISSN: 2077-0472
7. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с. ISBN 577-81
8. BARNETT, H.L., HUNTER, B.B. Illustrated Genera of Imperfect Fungi, Fourth Edition. APS Press, 1998, 218 p, ISBN-10: 0890541922.

N.B. *Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramelor*:

I. 010601 „Studiul chimic al metaboliților secundari din sursele naturale locale și valorificarea potențialului lor aplicativ în baza lărgirii diversității moleculare cu funcționalitate multiplă”;

II. 011102 „Extinderea și conservarea diversității genetice, ameliorarea genofondurilor de culturi agricole în contextul schimbărilor climatice”, finanțate de Ministerul Educației și Cercetării.

THE ROLE OF MICROGAMETOPHYTE SELECTION FOR IDENTIFICATION OF TOMATO FORMS RESISTANT TO ABIOTIC STRESS FACTORS

ROLUL SELECȚIEI MICROGAMETOFIȚELOR ÎN IDENTIFICAREA FORMELOR DE TOMATE REZISTENTE LA FACTORII DE STRES ABIOTIC

CZU: 635.64:631.528.6 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.15**

Milania MAKOVEI
ORCID: 0009-0009-5039-6270
E-mail: milania.makovei@sti.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Cercetările au fost efectuate într-una dintre cele mai vulnerabile etape ale ontogenezei plantei de tomate – stadiul de gametofit mascul matur. Sunt prezentate rezultatele unei evaluări complexe și ale unei analize comparative a probelor de colecție privind rezistența la temperaturi ridicate și scăzute, în funcție de stadiul de vegetație a plantelor. Este prezentată eficiența selecției etapizate prin manifestarea stabilă a caracterelor gametofitului mascul, pentru crearea materialului de bază cu rezistență complexă la diferiți factori de stres termic. Sunt selectate probe cu rezistență determinată genetic la temperaturi de stres ridicat și scăzut, pentru utilizare ulterioară în programele de ameliorare ca donatori pentru crearea de soiuri și hibrizi de tomate cu un nivel mai ridicat de rezistență la factorii de mediu nefavorabili.*

Cuvinte-cheie: *tomate, microgametofit, evaluare, selecție, factori de stres termic.*

INTRODUCTION

In recent years, significant results have been achieved in tomato breeding in creating varieties and hybrids with high productivity. However, global climate change and frequently recurring viral epiphytoties, including in the Republic of Moldova, lead to intensification of genetic erosion, and as a consequence, a decrease in the potential productivity and quality of the yield of existing tomato varieties and hybrids. This necessitates the creation of new forms capable of realizing the genetically embedded productivity potential in conditions other than optimal. This can be facilitated by an integrated approach to research using effective methods of evaluation, identification and creation of source material involving new germplasm with higher genetic divergence in the breeding process. Genetically and geographically distant forms, wild and semi-cultivated varieties, as well as mutant forms of tomato can be used as such. The possibility of involving a large number of genotypes in artificial selection [1, 2], regulating the "rigidity" of selection under controllable conditions [3], requires the development of more accurate and effective approaches to assessing and identifying valuable genotypes using pollen populations as a test system to determine their adap-

tive potential in rapidly changing environmental conditions throughout the entire vegetation period of plants [4]. Active integration of gamete technologies into traditional breeding programs will allow for a simultaneous, quick and effective study of the features of manifestation and variability of biological and economically valuable traits, both depending on the characteristics of the genotype and the action of environmental factors at different stages of plant development. This approach to research suggests the possibility of intensifying the selection process aimed at creating new varieties and heterotic hybrids of tomato with a complex set of economically valuable traits that combine high productivity and resistance to stressful abiotic, biotic and other environmental factors.

Based on this, the aim of this study is to develop breeding technologies that allow for a short period of time to evaluate and analyze a large amount of experimental material and to isolate valuable genotypes with a high potential for resistance to the effects of temperature stress factors at one of the most vulnerable stages of plant ontogenesis - the stage of mature male gametophyte.

MATERIALS AND METHODS

The experimental material consisted of 60 tomato samples, including carriers of mutant marker genes (*sp, sp*$^{+}$*, sp*$^{\pm}$*, rin, nor, alc, ls, br, u, hp-1, j-2, Ln, W*^{om}*, ps, ps-2* and others) that control the manifestation of a number of economically valuable traits. The plants for the studies were grown in the greenhouse of the experimental section of the Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection, on 10 m^2 plots with 30 accounting plants from each genotype [5]. Phenological observations, morphological description and recording of quantitative indicators of the main breeding-valuable traits (type of inflorescence, number of flowers on plants, number of set fruits, total yield, marketability of fruits, resistance to main diseases, etc.) were carried out [6]. Evaluation of resistance to high and low temperatures was carried out based on a set of traits of the male gametophyte [3]. Genotypes with a high degree of coincidence of indicators of economically valuable traits were selected, including those controlled by mutant genes with resistance to high and low temperature conditions. Pollen for the studies was collected from flowers of plants of each genotype individually at three different times: in the phase of mass flowering of the first two inflorescences (June-July); in the phase of flowering of flowers on inflorescences of the middle tier of plants (July-August) and in the phase of mass fruiting and flowering of flowers of inflorescences of the upper tiers (August-September). Pollen was collected from fully opened flowers in the morning hours using a single method. At different stages of evaluation, freshly collected pollen from each genotype was divided into three parts. One was immediately sown on an artificial nutrient medium (15% sucrose and 0.006% boric acid) and germinated in vitro for 3 hours at 25° C. The pollen viability-germination (*p, %*) and pollen tube length (*l, μm*) were determined in ocular microm-

eter divisions; this served as a control (C). The second part was used to assess heat resistance by treating it at 45° C for 8 hours, followed by germination to determine viability (*p, %*) and pollen tube length (*l, μm*). The cold resistance of genotypes was diagnosed by sowing a third of the pollen on a nutrient medium, which was germinated in a cold thermostat (XT – 3/70) at +6°C for 24 hours, after which its viability (*p, %*) and tube length (*l, μm*) were also determined. For each genotype, at different stages and in each variant of the study, at least 500 pollen grains were assessed. All pollen preparations were examined under a Zeiss light microscope. The criterion for classifying a genotype into a certain resistance group is the resistance coefficient, which reflects the ratio between pollen viability and pollen tube length against the background of each of the stress factors used to the control

$$Kstr = (Pex \times Lex) : (Pc \times Lc) \times 100\%$$

where: *K* - is the stress resistance coefficient, expressed in %; Pex - is the number of germinated pollen grains in the experiment and *Lex* - is the length of pollen tubes in the experiment; *Pc* - is the number of germinated pollen grains in the control and *Lc* - is the length of pollen tubes in the control. Genetic-statistical analysis of the studied quantitative traits made it possible to determine the degree of genetic stability relative to each trait, individually for each genotype, depending on the characteristics of the genotype, the stage of plant development and the conditions of their cultivation.

RESULTS AND DISCUSSION

A comparative analysis of the results of assessing tomato collection samples for resistance to high and low temperatures by the nature of the manifestation of male gametophyte traits on different temperature stress backgrounds, including taking into account the stage of plant development, did not reveal a close correlation between them. The correlation coefficient between the level of heat resistance and cold resistance by male gametophyte traits both within one genotype and between them varied in a very wide range from -0.11 to +0.67.

For a deeper understanding of the value and significance of the results obtained, the studied genotypes were divided into appropriate groups according to the developed resistance scale (Table 1). Their ranking into groups is based on the nature of the manifestation of a complex of microgametophyte traits: germination of freshly collected pollen and the length of pollen tubes, resistance to germination and length of pollen tubes after exposure to high temperatures and the ability to germinate and form tubes of sufficient length for fertilization against a background of low temperatures (Table 1).

Table 1. Resistance scale for assessing the response of tomato genotypes to the action of stressful abiotic factors based on male gametophyte traits

No Croups	Traits		Characterization of genotype resistance
	Pollen resistance, %	Resistance by pollen tube length, %	
	Values of trait indicators within groups, %		
I	0 - 11	0 - 20	unresistance
II	12 - 23	21 - 41	low resistance
III	24 - 35	42 - 62	relatively resistance
IV	36 -47	63 - 83	resistant
V	48 - 59	84 - 104	highly resistant
VI	60 and >	105 and >	ultra resistant
VII	0 - 23	63 and >	low pollen resistance and > high resistance along the length of the pollen
VIII	48 and >	0 - 31	high pollen resistance and < low resistance along the length of the pollen tubes

Genetic determination of the pollen response to the action of artificially created stress temperature backgrounds in the studied tomato samples was established. This allowed them to differentiate and systematize them into appropriate groups, including depending on the stage of plant development. Genotypes with a lower response of their pollen to the action of both studied temperature stress factors were identified. They are distributed in the first group and are represented by 18 genotypes (Table 2). Their pollen practically does not react to the action of both temperature stress factors, and in some cases the values of the studied traits are higher, this is especially pronounced during germination against the background of a low-temperature stress factor. Along with these, genotypes (group 2) with high resistance of pollen obtained from flowers of inflorescences of lower tiers of plants (2-3 inflorescence) were identified, but as the level of the inflorescence position on the plant increases, the sensitivity of pollen to the effects of stressful temperature conditions increases. The third group included genotypes whose pollen, regardless of the level of the inflorescence position on the plant, demonstrates high resistance to the high-temperature stress factor, but at the same time the indicators sharply decrease against the background of low temperature. The decrease in the indicators of both traits (pollen germination and the ability of germinated pollen grains to form tubes of sufficient length for fertilization) is especially pronounced as the level of the inflorescence position on the vegetative plant from whose flowers the pollen was obtained increases (Table 2). The genotypes presented in the 4th and 5th groups are characterized by high intrapopulation variability of pollen both in morpho-biological characteristics of

pollen grains (different in shape, size and completeness) and in their ability to germinate and form pollen tubes of sufficient length for fertilization under the influence of stress factors. For example, in some cases, pollen germinates poorly, but the germinated pollen grains form long pollen tubes, while in other cases, pollen germinates actively, but the germinated grains form very short tubes with deformations of varying degrees of severity (Table 2). Such pollen characteristics are an obstacle to the successful fertilization process in natural conditions, which reduces the value of these forms for use in breeding programs as donors of resistance.

Table 2. Distribution of tomato collection samples into groups according to the nature of manifestation of male gametophyte traits under different stress conditions during plant vegetation

Ranking of genotypes into groups by type and degree of resistance	**Resistance group according to the scale depending on the stage of plant development**					
	To high temperature			**To low temperature**		
	Inflorescences					
	2 -3	**4 -5**	**and higher**	**2 - 3**	**4 - 5**	**and higher**
1. Mo 120, Mo 372, Mo 500, Mo 620, Mo 651, La2529, La3013, L79, L158, L 187, L234, L828, MaKrista, Fakel, Stefani, PetraMak, Matriona	VI	V	V	V	V	VI
2. Mo 56, Mo 308, La 3616, Uspeh, Potoc, Frigusor, Onix, L965, L111	IV	III	II	VII	IV	III
3. L28, L224, L386, L454, L456, L479, L828, Demidov, Viza, Solaris, Ballada, Barnaulskii conservnii, Vivat	VI	V	V	IV	III	II
4. L7, L8/234, L16, L33/241, L201, L423, L556, Mo 588, Mo 900	IV	IV	IV	I	I	I
5. L110/18, L118, L123, L135, L171, L186, L193	VIII	VIII	VIII	VII	VII	VII
6. L555, Mo 443, Mo 606, L45/16, L11/4, L11069	II	I	I	III	IV	IV

The obtained results show that modeling artificial stress backgrounds in laboratory conditions allows for the evaluation and selection of resistant tomato genotypes, including taking into account the variability of traits depending on the age of the plants (Figure 1 a, b). The analysis of the dynamics of change in the trait indices depending on the inflorescence position level on the vegetative plant confirmed the clearly expressed differences between the studied genotypes, including their response to increased temperature

conditions under natural conditions. As the inflorescence position level increases and temperature conditions increase during plant vegetation, pollen of the first group of genotypes retains high resistance (Figure 1 a, b). Stable manifestation of traits is observed in genotypes from groups 4, 5 and 6 when exposed to high temperature. Whereas, against the background of a low-temperature stress factor, pollen of genotypes from group 5 practically does not germinate, which indicates low or complete absence of resistance to the action of this stress factor. Significant variability in the indices of both pollen traits depending on the inflorescence position level on the vegetative plant in its response to low temperature is also observed in genotypes of groups 4 and 6 (Figure 1 a, b).

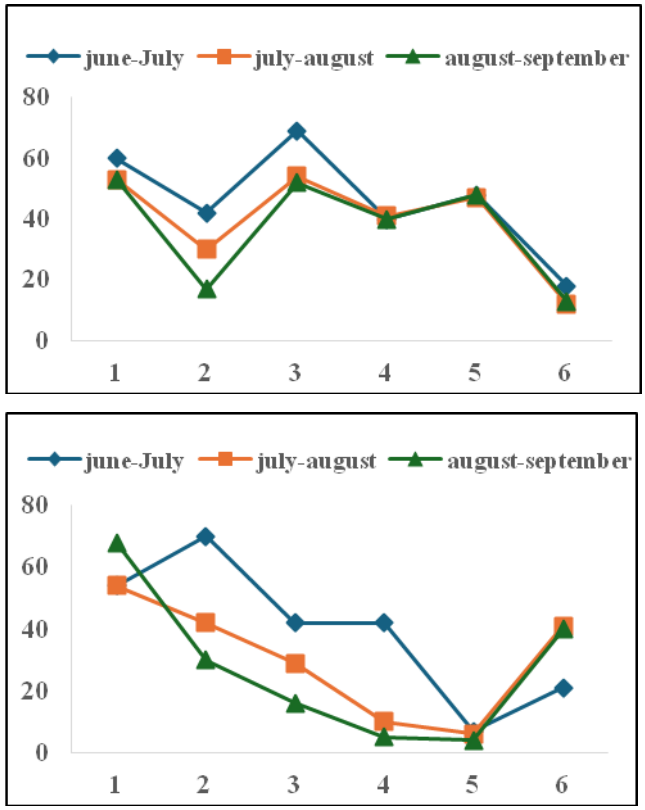


Figure 1 (a, b) Dynamics of changes in pollen resistance of tomato collection samples to high and low temperatures in different groups during the growing season

The pronounced differences between the collection samples on the action of two different temperature stress factors indicate that resistance to them is determined by different genetic systems. The revealed individual features of the genotypes, reflected in different spectra of variability of the studied traits both within one genotype and between them in relation to their reaction to the action of external factors during the vegetation

period of plants, confirm this conclusion. Such an approach to research allowed us to conduct an effective assessment and select valuable source material with a stable manifestation of male gametophyte traits throughout the vegetation period of plants under the action of two different stress temperature factors, which characterizes them as highly resistant.

CONCLUSION

In the process of step-by-step evaluation of pollen of tomato collection samples on the effect of high and low temperatures during the entire period of plant vegetation, it was shown that resistance to temperature stress factors in the microgametophyte is genetically determined. This made it possible to isolate the most valuable genotypes of both the cultural type and, from among the carriers of valuable mutant marker genes. Their subsequent use as donors in crossings will allow us to establish the role of resistance of the male gametophyte in the formation of reactions of hybrid offspring to the effect of stressful abiotic factors and their selection and genetic significance in solving practical selection problems.

REFERENCES:

1. FROVA, C., PORTALUPPI, P., VILLA, M., SARI-GORLA, M. Sporophytic and gametophytic components of thermotolerance effected by pollen selection. In: *J. of Heredity*. 1995. Vol. 86. No 1. pp. 50-54.
2. MULCAHY, D.L., MULCAHY, G.B., POPP, R., FONG. Pollen selection for stress tolerance or the advantage of selecting before pollination. Sexual reproduction in higher plants. 1988. pp. 43-50.
3. МАКОВЕЙ, М.Д. Селекция томата на устойчивость к стрессовым абиотическим факторам с использованием гаметных технологий. Кишинев. 2018. 473 с. ISBN: 978-9975-56-565-3.
4. МАКОВЕЙ, М. Метод отбора и его влияние на интенсификацию селекционного процесса. В: *Журнале Овощи России*. Москва. 2020. № 5. с. 21-25.
5. ORZAN, V., IONESCU, C. (1989). Metodica și Tehnica Experimentală pentru încercarea soiurilor de legume de câmp. București, 1989. 268 p.
6. TOMATO – UPOV (*Solanum lycopersicum* L.) V 2012 0007 TG/44/11 Rev. Geneva.

ACKNOLEDGMENTS. *The research was carried out within the Subprogram 011102 ,,Increasing and conservation genetic diversity, agricultural crop breeding in the context of climate change", financed by the Ministry of Education and Research.*

ANALIZA VARIABILITĂȚII FENOTIPICE A UNOR CARACTERE CANTITATIVE LA GENOTIPURILE DE SUSAN (*Sesamum indicum* L.)

ANALYSIS OF PHENOTYPIC VARIABILITY OF SOME QUANTITATIVE TRAITS IN SESAME (*Sesamum indicum* L.) GENOTYPES

CZU: 633.853.74:575.21 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.16**

Anatolii MOGÎLDA
ORCID: 0000-0001-9159-6038
E-mail: anatolii.mogilda@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study presents an analysis of phenotypic variability in several quantitative traits of sesame (Sesamum indicum L.) genotypes from early and medium-early maturity groups, cultivated under the pedoclimatic conditions of the Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection (IGPPP) during the period 2019–2021. The research included the evaluation of 9 early-maturing varieties and one early line, as well as 13 medium-early varieties from the sesame collection. Based on multivariate analysis and cluster classification, groups of genotypes with high agronomic potential were identified: L_1, Donskoi belosemianyi, and Cumhuriyet 99 from the early group, and Kubanets 55 from the medium-early group. These genotypes stood out for their superior adaptability to diverse hydrothermal conditions and for their relevant phenotypic variability, making them valuable for breeding and crop improvement programs.*

Keywords: *cluster analysis, quantitative characters, early, medium early, sesame.*

INTRODUCERE

Susanul (*Sesamum indicum* L.), cunoscut drept „regina semințelor oleaginoase”, este una dintre cele mai vechi și valoroase culturi oleaginoase utilizate de om. Denumirea sa provine din termenii arabi „semsen” sau „simsin”, evoluând în forma actuală „susan” și în denumirea științifică Sesamum. Studiile indică existența mai multor centre de origine a susanului, răspândite în regiuni diverse precum Malaya, Indonezia, Valea Eufratului, Asia Centrală și nordul Indiei, fapt ce reflectă o bogată diversitate genetică și culturală [1].

De-a lungul istoriei, susanul a fost utilizat complex, atât în alimentație, cât și în ritualuri religioase, precum și în domenii farmaceutice și cosmetice. Semințele și uleiul de susan sunt apreciate pentru valoarea nutritivă ridicată, conținutul mare de ulei (35-55%) și multiplele beneficii asupra sănătății, incluzând proprietăți antioxidante, antiinflamatorii și antimicrobiene [2, 3].

Din punct de vedere agronomic, susanul este o plantă anuală, cu o adaptabilitate

largă la diverse condiții climatice, fiind cultivabil până la altitudini de peste 3000 metri și pe latitudini variind între 25° sud și 40° nord. Deși în Republica Moldova susanul este preponderent importat, cercetările arată potențialul său de cultivare locală [4].

Din perspectivă botanică, Sesamum indicum aparține familiei Pedaliaceae și se remarcă printr-o morfologie variată a frunzelor, florilor și semințelor. Polenizarea sa este predominant autofertila, cu un grad redus de încrucișare, iar genul Sesamum cuprinde o singură specie cultivată pe scară largă, dar cu numeroase soiuri locale și colecții genetice importante la nivel mondial [5].

Un element esențial pentru ameliorarea și utilizarea susanului îl reprezintă diversitatea genetică, care stă la baza adaptabilității și evoluției culturii. Această diversitate genetică, rezultată din variabilitatea materialului ereditar, este indispensabilă pentru selecția naturală și artificială, influențând rezistența plantelor la factori biotici și abiotici [6, 7, 8]. În ultimii 40 de ani, peste 200 de soiuri ameliorate de susan au fost dezvoltate în întreaga lume, inclusiv în țări precum India, China, Etiopia, Myanmar, Bulgaria și Kenya, datorită caracterizării detaliate a germoplasmei prin metode morfologice, biochimice, moleculare și tehnologii genomice moderne [1, 9, 10, 11, 12].

Resursele genetice vegetale sunt păstrate în Bănci de Gene la nivel global, majoritar în Asia, dar și în Statele Unite, Coreea de Sud sau Africa, cu peste 27.000 de materiale genetice de susan colecționate, reprezentând un fond valoros pentru conservarea biodiversității și programele de ameliorare [11, 13, 14, 15]. Gestionarea și valorificarea acestor resurse sunt cruciale pentru securitatea alimentară globală și adaptarea culturilor la schimbările climatice și socio-economice [7].

În acest context, caracterizarea și evaluarea parametrilor morfoproductivi ai susanului sunt fundamentale pentru selecția genotipurilor performante. Diversitatea genetică susține astfel atât selecția naturală, cât și cea artificială, oferind premise solide pentru creșterea productivității și a rezilienței culturii față de factorii de stres [2, 3, 4].

Prezenta lucrare evidențiază genotipuri de susan din grupele precoce și mediu precoce, care demonstrează performanțe superioare în ceea ce privește caracterele de productivitate în condiții climatice variate, subliniind astfel potențialul lor agronomic în contextul specific al zonei centrale a Republicii Moldova.

MATERIAL ȘI METODĂ

Caracterizarea și evaluarea grupelor de precocitate ale susanului (*Sesamum indicum*) au avut ca obiectiv identificarea genotipurilor cu potențial ridicat de productivitate. În cadrul studiului au fost analizate 9 soiuri și o linie din grupa precoce și 13 soiuri din grupa mediu precoce, toate provenind din colecția de susan, cu origini geografice variate.

Semănatul lotului experimental s-a efectuat manual, în rânduri, conform unei scheme de plantare de 60 × 10 cm, asigurând o densitate de 17 plante/m². Experiența a fost desfășurată pe parcursul a trei ani consecutivi (2019–2021). În faza de 2–3 perechi de frunze adevărate, plantele au fost rărite, păstrând densitatea planificată în conformitate cu schema de semănat. Pentru menținerea câmpului curat de buruieni și pentru a susține

dezvoltarea optimă a plantelor, au fost realizate două prașile manuale. Atât schema de plantare, cât și dimensiunea parcelelor (4,5 m²) au fost identice pentru toate genotipurile analizate din cadrul colecției.

Pe durata perioadei de vegetație, s-au efectuat observații fenologice, iar datele au fost înregistrate în registrul de experiență. Etapele monitorizate au inclus: semănatul, răsărirea, începutul înfloririi (la 10% dintre plante), înflorirea la 50% dintre plante, sfârșitul înfloririi, coacerea fiziologică și coacerea deplină.

Evaluarea genotipurilor s-a realizat în conformitate cu Descriptorul IPGRI pentru susan [16], luând în considerare o serie de parametri morfologici și agronomici. În acest context, au fost efectuate măsurări biometrice privind: *înălțimea plantelor, lungimea internodurilor, lungimea capsulelor, numărul de capsule per plantă, numărul de semințe per capsulă și productivitatea per plantă*.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Productivitatea potențială a oricărei culturi este determinată, în principal, de factori edafici, condițiile climatice, practicile agrotehnice și potențialul genetic al speciilor cultivate. Astfel, manifestarea fenotipică a caracterelor agronomice este rezultatul interacțiunii dintre genomul plantelor și mediul înconjurător în care acestea se dezvoltă.

Pentru a evidenția variabilitatea și a stabili relațiile dintre diferitele genotipuri, s-a aplicat analiza clusterială utilizând metoda Ward's, o tehnică eficientă pentru gruparea genotipurilor în funcție de trăsăturile comune. Această metodă permite identificarea unor clustere omogene, în care genotipurile sunt similare între ele, dar diferite de celelalte grupuri. Rezultatele analizei sunt ilustrate prin dendrograme, care reflectă procesul de grupare ierarhică, unde distanțele mici semnalează o apropiere fenotipică accentuată între genotipuri.

În studiile asupra colecțiilor de germoplasmă, analiza multivariată a trăsăturilor morfologice a fost utilizată cu succes pentru clasificarea și estimarea diversității genotipurilor [17, 18].

Pe baza valorilor înregistrate pentru caracteristicile analizate în perioada 2019–2021 (înălțimea plantei, lungimea internodului, lungimea capsulei, numărul de capsule pe plantă, numărul de semințe pe capsulă și productivitatea per plantă), genotipurile precoce au fost grupate în trei clustere (figura 3.2).

Clusterul 1 a inclus genotipurile *L_1, Djerelo, Zaltsadovski, Gusar, Nataşa, Donskoi belosemianîi, Cumhuriyet 99, Boiarin, Adaptovanâi 2* și *N162/0781*, care au prezentat cele mai ridicate valori pentru *înălțimea plantei* (103,5–106,7 cm), *numărul de capsule pe plantă* (53,5–54,5), *numărul de semințe pe capsulă* (53,6–68,1) și *productivitatea per plantă* (6,6–10,1 g) în anul de vegetație 2021. Acest an s-a remarcat prin cantități ridicate de precipitații (375,9–411,9 mm) și un coeficient hidrotermic favorabil (CHT_{2021} = 1,7). În același cluster, *L_1, Donskoi belosemianîi* și *Cumhuriyet 99* s-au evidențiat și în anul 2019, demonstrând o adaptabilitate ridicată în condiții climatice mai restrictive (CHT_{2019} = 0,81).

Clusterul 2 a inclus genotipurile precoce *Djerelo, Zaltsadovski, Gusar, Natașa, Boiarin, Adaptovanîi 2, N162/0781*, dar și *Donskoi belosemianîi* și *Cumhuriyet 99*, analizate în anii 2019 și 2021, care au manifestat un nivel mediu al caracterelor de bază. Astfel, factorii climatici din 2021 nu au favorizat caracterele cantitative pentru aceste genotipuri.

În anul 2020, genotipurile de susan au prezentat o variabilitate fenotipică redusă în ceea ce privește *înălțimea plantei, numărul de capsule și productivitatea per plantă* (60,2–74,7 cm, 15,1–33,7 capsule și 2,1–5,0 g). Condițiile meteorologice nefavorabile, caracterizate prin temperaturi scăzute și precipitații abundente, au afectat negativ dezvoltarea plantelor. Întârzierea semănatului cu 34 de zile a redus durata perioadei de vegetație cu 10–18 zile comparativ cu anul 2021. Temperaturile ridicate (23,3–23,6°C) și deficitul de precipitații (169,2 mm) au influențat negativ parametrii analizați. Genotipurile cultivate în acest an au fost grupate în clusterul 3 (figura 1).

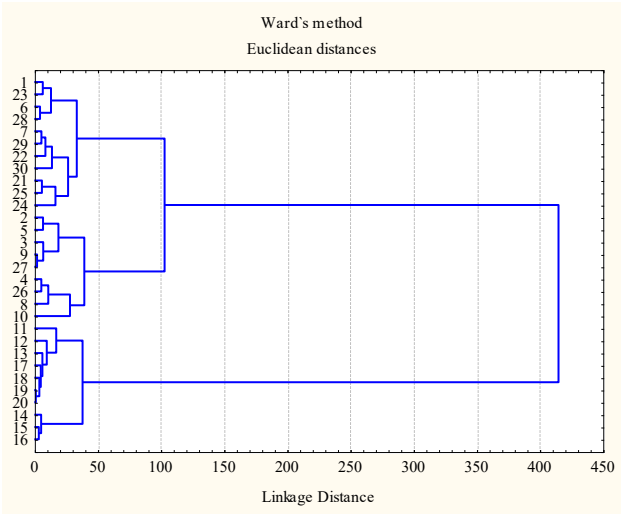


Figura 1. Repartiția clusteriană a genotipurilor de susan precoce pe baza caracterelor cantitative (anii 2019-2021).

Pe verticală:

Cluster I – 1 – L_1 (2019), 23 – *Zaltsadovski*, (2021), 6 – *Donskoi belosemianîi* (2019), 28 – *Boiarin* (2021), 7 – *Cumhuriyet 99* (2019), 29– *Adaptovanîi 2* (2021), 22 – *Djerelo* (2021), 30 – *N162/0781* (2021), 21 – L_1(2021), 25– *Natașa* (2021), 24 – *Gusar* (2021).

Cluster II – 2 *Djerelo* (2019), 5 – *Natașa* (2019), 3 – *Zaltsadovski* (2019), 9 – *Adaptovanîi 2* (2019), 27 – *Cumhuriyet 99* (2021), 4 – *Gusar* (2019), 26 – *Donskoi belosemianîi* (2021), 8 – *Boiarin* (2019), 10 – *N162/0781 (2019).*

Cluster III – 11 – *L_1(2020)*, 12 – *Djerelo (2020)*, 13 – *Zaltsadovski (2020)*, 17 – *Cumhuriyet 99 (2020)*, 18 – *Boiarin(2020),* 19 – *Adaptovanîi 2 (2020)*, 20 – *N162/0781 (2020)*, 14 – *Gusar (2020)*, 15 – *Nataşa (2020)*, 16 – *Donskoi belosemianîi (2020).*

Genotipurile mediu precoce repartizate în clusterul 1 au înregistrat cele mai scăzute valori pentru *înălțimea plantei* (57,5–88,2 cm), *numărul de capsule per plantă* (15,7–30,2) și *productivitatea per plantă* (2,3–5,5 g) în anul de vegetație 2020 (CHT_{2020} = 0,9). Acest grup a inclus și genotipurile *Kubanets 57, BiolSadovski* și *k-1621* cultivate în anul de vegetație 2019 (CHT_{2019} = 0,7), care au prezentat valori modeste, dar comparabile: *înălțimea plantei* (77–91 cm), *numărul de capsule per plantă* (36,6–37,9), *productivitatea per plantă* (5,7–6,9 g).

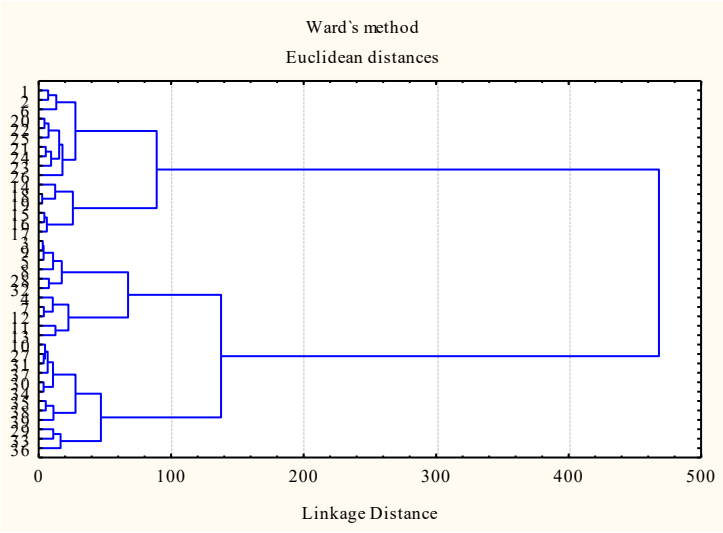


Figura 2. Repartiția clusteriană a genotipurilor de susan mediu precoce pe baza caracterelor cantitative (anii 2019-2021).

Pe verticală:

Cluster I – 1 – *Kubanets 57* (2019), 2 – *BiolSadovski* (2019), 6 – *k-1621* (2019), 20 – *k-1555* (2020), 22 – *Lider* (2020), 25 – *VNIIMK-889* (2020), 21 – Solnecinîi (2020), 24 – *Taşkentskii 122* (2020), 23 – *Kubanets 55* (2020), 26 – *VNIIMK-1* (2020), 14 – *Kubanets 57* (2020), 18 – *Kubanets 93* (2020), 19 – *k-1621* (2020), 15 – *BiolSadovski*(2020), 16 – *k-1265* (2020), 17 – *Bliscucii* (2020).

Cluster II – 3 – *k-1265* (2019) , 9 – *Lider* (2019), 5 – *Kubanets 93* (2019), 8 – *Solnecinîi* (2019), 28 – *BiolSadovski* (2021), 32 – *k-1621* (2021), 4 – *Bliscucii* (2019), 7 – *k-1555* (2019), 12 – *VNIIMK-889* (2019), 11 – *Taşkentskii 122* (2019), 13 – *VNIIMK-1* (2019).

Cluster III – 10 – *Kubanets 55* (2019), 27 – *Kubanets 57* (2021), 31 – *Kubanets 93* (2021), 37 – *Taşkentskii 122* (2021), 30 – *Bliscucii* (2021), 34 – *Solnecinîi* (2021), 35

– Lider (2021), 38 *–VNIIMK-889* (2021), 39 – *VNIIMK-1* (2021), 29 – *k-1265* (2021), 33 – *k-1555* (2021), 36 – *Kubanets 55* (2021).

Genotipurile repartizate în clusterul 2 au înregistrat performanțe moderate, fiind reprezentate de genotipuri cultivate în 2019: *k-1265, Lider, Kubanets 93, Solnecinîi, Bliscucii, k-1555, VNIIMK-889, Taşkentskii 122* și *VNIIMK-1*. Indicii vizați au variat între: 85,7–103 cm pentru *înălțimea plantei*, 33,1–50,5 pentru *numărul de capsule per plantă* și 3,9–8,0 g pentru *productivitatea per plantă*. De asemenea, clusterul a cuprins și genotipurile *BiolSadovski* și *k-1621* (2021), care s-au remarcat prin cel mai ridicat coeficient hidrotermic (CHT_{2021} = 1,6), cu valori ale *înălțimii plantei* de 108,2–109,5 cm, 38,7–46,2 *capsule per plantă* și o *productivitate per plantă* de 7,2–6,7 g.

Genotipurile de susan mediu precoce *Kubanets 57, Kubanets 93, Taşkentskii 122, Bliscucii, Solnecinîi, Lider, VNIIMK-889, VNIIMK-1, k-1265, k-1555* și *Kubanets 55*, cultivate în anul 2021, precum și *Kubanets 55* în anul agricol 2019, au prezentat cea mai ridicată variabilitate fenotipică pentru următorii indici: *înălțimea plantei* (106,2–134,0 cm), *numărul de capsule per plantă* (44,8–62,6) și *productivitatea per plantă* (6,2–10,2 g), fiind astfel încadrate în clusterul 3 (figura 2). În acest context, genotipul *Kubanets 55* s-a evidențiat prin valori ridicate ale caracterelor cantitative analizate, demonstrând o capacitate înaltă de adaptare la diferite condiții hidrotermice.

CONCLUZII

Cercetarea a evidențiat o variabilitate fenotipică relevantă între genotipurile de susan din grupele precoce și mediu precoce, cultivate în perioada 2019–2021 în condițiile pedoclimatice ale IGFPP din zona de centru a Republicii Moldova. Analiza clusteriană a permis gruparea genotipurilor în funcție de similitudinea caracterelor cantitative și adaptabilitatea la condiții hidrotermice variate. Genotipurile precoce *L_1, Donskoi belosemianîi* și *Cumhuriyet 99*, precum și genotipul mediu precoce *Kubanets 55*, s-au remarcat prin productivitate ridicată și stabilitate atât în anul 2019, cât și în 2021, demonstrând un potențial agronomic valoros.

Rezultatele susțin importanța evaluării caracterelor cantitative în funcție de condițiile de mediu și oferă un fundament solid pentru selecția genotipurilor performante, contribuind la ameliorarea și extinderea culturii de susan în zona de centru a Republicii Moldova, în contextul provocărilor climatice actuale.

REFERINȚE:

1. BEGNA, T. Role and economic importance of crop genetic diversity in food security. In: *Journal of Agricultural Science and Food Technology.* 2021, vol. *7*, p. 164–169. ISSN: 2455-815X.
2. BEDAWY, I. M., MOHAMED, N. E. Phenotypic and genotypic variability in a set of sesame (*Sesamum indicum L.*) genotypes. In: *Egyptian Journal of Agronomy*. 2018, vol. 40, nr. 3, p. 193 – 205. ISSN: 0379-3575.

3. BOUREIMA, S. et. al. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. In: *International Journal of Pure and Applied Biosciences*. 2016, vol. 4, nr. 1, p. 45–60. ISSN: 2320 – 7051.
4. HIKA, G., GELETA, N., JALETA, Z. Genetic variability, heritability and genetic advance for the phenotypic traits in sesame (*Sesamum indicum* L.*)* populations from Ethiopia. In: *Science, Technology and Arts Research Journal*. 2015, vol. 4, nr.1, p. 20–26. ISSN: 2226-7522.
5. DAS, P. et. al. A comprehensive review on genomic resources in medicinally and industrially important major spices for future breeding programs: Status, utility and challenges. In: *Current Research in Food Science*. 2023, vol. 7, p. 1-15. DOI: 10.1016/j.crfs.2023.100579.
6. DANUSEVIČIUS, D. et al. Stronger genetic differentiation among within-population genetic groups than among populations in Scots pine provides new insights into within-population genetic structuring. In: *Scientific Reports*. 2024, vol. 14, p. 1-13. DOI:10.1038/s41598-024-52769-y.
7. SALGOTRA, R. K., CHAUHAN, B. S. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. In: *Genes (Basel)*. 2023, vol. 14, nr. 1, p. 1-20. DOI: 10.3390/genes14010174.
8. NIJABAT, A., et. al. Variation in seed germination and amylase activity of diverse carrot [*Daucus carota* (L.*)*] germplasm under simulated drought stress. In: *HortScience*. 2023, vol. 58, nr. 2, p. 205-214. ISSN: 0018-5345.
9. DOSSA, K., DIOUF, D., CISSÉ, N. Genome-wide investigation of Hsf genes in sesame reveals their segmental duplication expansion and their active role in drought stress response. In: *Frontiers in Plant Science*. 2016, vol. 7, nr. 190, p. 1-16. DOI: 10.3389/fpls.2016.01522.
10. CHISNICEAN, L, ZHELEZNYAK, T., VORNIKU, Z. The selection and evaluation of promising forms of Sesamum indicum *L*. In: *Symposium of Agriculture and Food engineering*. 2022, vol. 65, nr. 2, p. 44-45. ISSN 1454-7414.
11. TEKLU, D. H., SHIMELIS, H., ABADY, S. Genetic improvement in sesame (*Sesamum indicum* L.): progress and outlook: A Review. In: *Agronomy*. 2022, vol. 12, nr. 9, p. 1-23. DOI: 10.3390/agronomy12092144.
12. STAMATOV, S., VELCHEVA, N., DESHEV, M. Introduced sesame accessions as donors of useful qualities for breeding of introduced sesame accessions as donors of useful qualities for breeding of mechanized harvesting cultivars. In: *Bulgaria Journal of Agricultural Sciences*. 2018, vol. 24, nr. 5, p. 820–824. ISSN: 1310-0351.
13. PARK, J. H. et al. Development and evaluation of core collection using qualitative and quantitative trait descriptor is sesame (*Sesamum indicum L*.) germplasm. In: *Korean Journal of Crop Science.* 2015, vol. 60, nr. 1, p. 75-84. ISSN 0252-9777.

14. WEI, X. et al. Genetic discovery for oil production and quality in sesame. In: *Nature Communications.* 2015, vol. *6*, p 1-11. DOI:10.1038/ncomms9609.
15. TEKLU, D. H. et. al. Genetic variability and population structure of Ethiopian sesame (*Sesamum indicum L.*) germplasm assessed through phenotypic traits and simple sequence repeats markers. In: *Plants.* 2021, vol. *10, nr. 6*, p. 1-18. ISSN: 2223-7747.
16. IPGRI, and NBPGR. Descriptors for Sesame (Sesamum spp.). 2004, 63 p. ISBN 92-9043-632-8.
17. AKPERTEY, A. et. al. Genetic variability for vigor and yield of robusta coffee (*Coffea canephora*) clones in Ghana. In: *Heliyon*. 2022, vol. 8, nr. 8, p. 1-10. DOI:10.1016/j. Heliyon. 2022.e10192.
18. EL HARFI, M. et. al. Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of sesame (*Sesamum indicum*). In: *International Journal of Agriculture and Biology*. 2016, vol. 18, nr. 6, p. 1089-1094. ISSN: 1560 – 8530.

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul Subprogramului 011102 – "Extinderea și conservarea diversității genetice, ameliorarea genofondurilor de culturi agricole în contextul schimbărilor climatice", finanțat de Ministerul Educației și Cercetării a Republicii Moldova.*

MODIFICAREA ACTIVITĂȚII MICROGAMEȚILOR LA DESCENDENȚII TOMATELOR REINFECTATE CU VIRUSURI

MODIFICATION OF MICROGAMETE ACTIVITI IN THE OFFSPRING OF TOMATOES REINFECTED WITH VIRUSES

CZU: 635.64:632.38:575.16 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.17**

Tatiana SALTANOVCI
ORCID: 0000-0002-1122-433
E-mail: tatiana.saltanovici@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Larisa ANDRONIC
ORCID: 0000-0002-2761-9917
E -mail: larisa.andronic@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Liudmila ANTOCI
ORCID: 0009-0006-4855-6544
E-mail: ludmila.antoci@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*The paper presents the results of studies of the effect of high temperature and water stress on the variability of the male gametophyte of tomato offspring obtained from plants infected with viruses. Specific variability of such parameters as pollen-forming ability, pollen viability and pollen tube sizes was established. The obtained results by processing of multivariate dispersion analysis showed that the variability of these traits is largely controlled by the genotype and stress factors. At the haploid level, differences in genotype resistance to temperature and water deficiency were revealed. Genotypes characterized by a high level of microgamete resistance were identified for further practical use.*

Keywords: *tomato, pollen grain, pollen viability, virus, source of variation, variability, resistance.*

INTRODUCERE

În ultimii ani consecințele schimbărilor climatice se înregistrează tot mai frecvent, având un impact negativ asupra productivității plantelor și provoacă anual perturbări

semnificative ale randamentului. În acest sens sunt relevante cercetări privind identificarea caracterelor, ce asigură stabilitatea productivității genotipurilor în condiții stresogene. Activitatea microgameților în condiții nefavorabile ale mediului este un indiciu important, asociat cu mărimea și calitatea recoltei. A fost stabilit, că funcționalitatea polenului este influențată de variației genetice, iar absența heterozigoției în faza haploidă elimină efectele de dominanță și majorează eficiența selecției [1]. Conform datelor prezentate de Pacini, Dolferus [2] controlul genetic al rezistenței gametofitului mascul la stresuri abiotice a fost studiat insuficient. Rezultatele recente indică faptul că au fost determinate secvențe nucleotidice, ce au un rol important în determinarea termorezistenței și activității polenului. Totodată, a fost confirmat că toate etapele de dezvoltare și funcționare al gametofitului mascul pot fi afectate de influența factorilor stresogeni biotici și abiotici. Cercetătorii subliniază că în condiții de stres termic performanța polenului este una dintre cele mai importante caracteristici, asociate cu legarea fructelor [3, 4]. Pe fondal de deficit hidric a fost determinată insuficiența conținutului de apă în anterele și grăuncioarele de polen, fapt ce contribuie la diminuarea activității polenului și micșorarea productivității plantelor [2].

S-a demonstrat, că în condiții de influență asociată a factorilor abiotici și a agenților patogeni, răspunsurile defensive ale plantelor la diferite etape de dezvoltare, inclusiv și la etapele reproductive, pot fi majorate sau diminuate [5]. Astfel, infecțiile virale pot proteja plantele de impactul negativ al anumitor stresuri abiotice [6]. De exemplu, la plantele infectate cu virusul mozaicului napilor (Turnip Mosaic Virus, TuMV) a fost stabilită majorarea expresiei genelor defensive, deși la genotipurile expuse stresului abiotic acest fenomen nu s-a manifestat. În rezultat s-a constatat că infecția virală îmbunătățește rezistența plantelor la stresul abiotic prin creșterea nivelului de osmoprotectori și antioxidanți. În experiențele cu *Nicotiana benthamiana* și *Arabidopsis thaliana* infectate cu virusul cartofului X (Potato Viruc X, PVX) și virusul șarca prunelor (Plum Pox Virus, PPV) a fost stabilită majorarea toleranței plantelor la secetă prin creșterea acidului salicilic într-un mod independent de acidul abscisic (ABA) [7].

Luând în considerare faptul, că informația privind reacția la nivel haploid a descendenților de tomate, obținute de la plantele reinfectate cu virusuri este limitată, **scopul** cercetărilor realizate a constat în evaluarea activității gametofitului mascul la descendenții tomatelor reinfectate cu fitopatogeni virali.

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru realizarea experiențelor în calitate de material experimental au fost utilizați descendenții, obținuți de la plantele de tomate reinfectate cu VMT/VAT (virusul mozaicul tutunului - VMT, virusul aspermiei tomatelor - VAT): soiuri: Mary Gratefully, Venеț, Flacăra, Rufina (variante martor, reinfectare VMT, reinfectare VAT); forma spontană: *Solanum pimpinellifolium* (variante martor, reinfectare VMT, reinfectare

VAT). Materialul biologic a fost cultivat în condiţii de solar conform metodei standart. În scopul aprecierii calității polenului au fost colectate flori de la descendenții genotipurilor reinfectate şi varianta martor. Determinarea viabilității gametofitului mascul s-a efectuat prin cultivarea grăuncioarelor de polen în termostat cu regim termic optim 26 – 28 °C pe mediu nutritiv artificial, ce conţine soluție apoasă de zaharoză - 15%, acid boric - 0,006% (mediu-martor). Aprecierea reacției gametofitului mascul la acțiunea temperaturii înalte a fost realizată prin tratarea grăuncioarelor de polen în termostat cu temperatura de 40 °C timp de 3 ore. Pentru modelarea condițiilor de deficit hidric am utilizat mediu nutritiv suplimentat cu zaharoză (32-35%). În baza studiului microscopic au fost determinați următorii indici: viabilitatea (VP) şi rezistenţa polenului; lungimea şi rezistenţa tuburilor polenice (TP). Capacitatea de formare a grăuncioarelor de polen în florile de tomate a fost stabilită după metoda Иванова и др. (1996). Analizele statistice ale datelor experimentale au fost efectuate cu ajutorul programelor Statgraphics 5.0 și Excel 2013. Pentru aprecierea ponderii genotipului, factorilor stresogeni şi interacţiunii acestora în sursa de variație a caracterelor studiate am aplicat analiza dispersională polifactorială (ANOVA).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Formarea în condiții de stres a unui număr mare de grăuncioare de polen cu activitatea funcțională înaltă este unul dintre factorii determinanți ai biologiei reproductive, deoarece este asociat cu productivitatea plantelor. În cercetările noastre, în rezultatul determinării capacității de formare a polenului a fost stabilit, că la descendenții VMT2/VAT2 numărul grăuncioarelor de polen per floare a variat în limitele 516-528 mii și a fost redus de 4,8…4,9 ori în raport cu varianta martor. Acest fapt ce poate fi explicat prin eliminarea selectivă a unei părți din populația grăuncioarelor de polen cu viabilitate redusă în rezultatul infectării plantelor. De menționat, că aceste rezultate coincid cu datele obținute în experienţe cu combinații hibride de tomate, care în rezultatul infectării cu VMT de asemenea au manifestat diminuarea producției de polen [8].

Se consideră, că viabilitatea gametofitului mascul este un indiciu important, ce caracterizează funcționalitatea polenului, determină succesul fecundării și calitatea semințelor [9]. Menținerea nivelului înalt al viabilității microgameților la plante cu diferit statut fitosanitar în condiții climatice nefavorabile este o condiție importantă pentru utilizarea acestor date în practica ameliorativă. Analiza variabilității funcționalității microgameților a stabilit la descendenții plantelor reinfectate VAT2 reducerea VP cu 12,2% față de varianta martor (Figura1). De menționat, că în cercetările precedente la descendenții plantelor primar infectate n-au fost stabilite deosebiri semnificative după acest indiciu. Totodată, în rezultatul aprecierii lungimii TP la descendenții VMT2/VAT2 am constatat depășirea valorilor martorului cu 25,2 și 31,6% (respectiv), fapt ce poate fi asociat cu majorarea vitezei de creștere a TP. Conform datelor obținute anteri-

or, descendenții plantelor primar infectate cu VMT au atestat majorarea dimensiunilor TP cu 8,1% față de martor. Diferențele după viteza de creștere a TP sunt asociate cu competitivitatea lor diferită, care este determinată de diversitatea genetică a polenului; ca urmare, astfel de modificări pot cauza heterogenitatea zigoților și a semințelor.

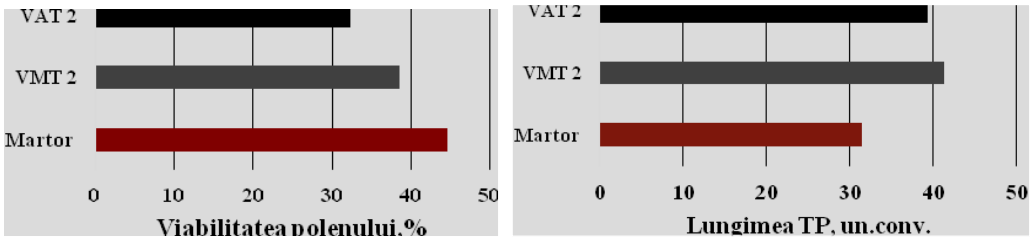


Figura 1. Variabilitatea indicelor microgameților la descendenții plantelor.reinfectate VMT/VAT

În rezultatul estimării activității microgameților pe fondal termic supraoptimal a fost stabilit, că influența acestui factor a redus VP în medie cu 9,3% comparativ cu martor. Conform datelor obținute nu toate grăuncioarele de polen au reacționat în mod egal la acțiunea termică, majoritatea acestora au manifestat reacții diferite. Astfel, la descendenții VMT2/VAT2 Veneț, Mary Gratefully, Flacăra, cât și Rufina VMT2 viabilitatea polenului s-a redus cu 3,4…30,0,1%, deci a fost atestat un efect inhibitor. La s. Rufna VAT2 și *S. pimpinellifolium* VMT2/VAT2 valorile acestui caracter au depășit valorile martorului cu 6,1…13,8%, ceea ce demonstrează manifestarea reacțiilor stimulative. Acțiunea termică în majoritatea cazurilor a reprimat creșterea TP, reducând dimensiunile acestora în medie de 1,6 ori față de martor. Printre genotipurile studiate cel mai mare efect inhibitor (de 2,4 și 1,9 ori) a fost constatat la descendenții s. Veneț VMT2/VAT2 și Flacăra VAT2; iar prin stabilitatea valorilor acestui caracter s-au evidențiat descendenții Mary Gratefully VAT2. De menționat, că aprecierea activității gametofitului mascul a acestor genotipuri în condiții de deficit hidric a demonstrat un efect inhibitor, acțiunea căruia a cauzat diminuarea VP cu 5,0…35,0% si reducerea lungimii TP cu 55,0…70,0%. În aceste condiții, la descendenții VMT2/VAT2 a fost stabilită diminuarea amplitudinei de variație după caracterul dat, cât și majorarea frecvenței de apariție a tuburilor polenice cu dimensiuni mici. Astfel, efectul deficitului hidric asupra gametofitului mascul la descendenții VMT2/VAT2 provoaca modificarea activității acestuia, reducând valorile medii ale viabilității polenului și lungimii tuburilor polenice, fapt ce poate cauza diminuarea productivității plantelor în condiții de secetă. De menționat, în aceste condiții nu toate grăuncioarele de polen reacționează în mod egal la acțiunea factorilor de stres; majoritatea acestora manifestă reacții specifice, fapt ce permite selectarea genotipurilor rezistente în baza variabilității existente.

Tabel. Sursele de variație ale indicelor gametofitului mascul de tomate în condiții de temperatură ridicată

Sursa de variație	Viabilitatea polenului			Lungimea TP		
	Grad de libertate	Suma pătratelor efectelor	CSV,%	Grad de libertate	Suma pătratelor efectelor	CSV,%
descendenții VMT2						
Genotip	4	8866*	36,5	4	3022*	12,8
VMT2	1	672*	11,1	1	237*	4,02
Temperatura	1	1326*	21,8	1	4365*	74,0
Interacțiunea factorilor	13	7156*	29,5	13	1893*	9,1
Efecte aleatorii	40	2541*	1,0	40	104,3*	0,04
descendenții VAT2						
Genotip	4	8306*	27,7	4	1625*	8,0
VMT2	1	1915*	25,5	1	84*	1,7
Temperatura	1	1038*	13,8	1	3894*	76,1
Interacțiunea factorilor	13	9514*	32,2	13	2791*	13,7
Efecte aleatorii	40	2530*	0,8	40	100*	0,5

* - $p<0,001$

Aplicarea testului ANOVA pentru analiza surselor de variație a indicelor gametofitului mascul în condiții de temperaturi ridicate a demonstrat acțiunea veridică ($P<0,001$) a genotipului, factorului termic, infecțiilor virale și interacțiunii acestora în variabilitatea indicelor polenului (Tabel). Astfel, modificarea VP a fost determinată de acțiunea genotipului cu 27,7...36,5%; influența temperaturii și a virusurilor a modificat variabilității caracterului dat cu 13,8...21,8 și 13,8...25,1% (respectiv). Conform rezultatelor analizei dispersionale, diferențele stabilite după dimensiunile TP în mare parte sunt cauzate de factorul termic cu 74,0...76,1%. La descendenții VMT2/VAT2 comparativ cu plantele reinfectate ponderea genotipului în variabilitatea lungimii TP s-a redus de 1,4…3,1 ori.

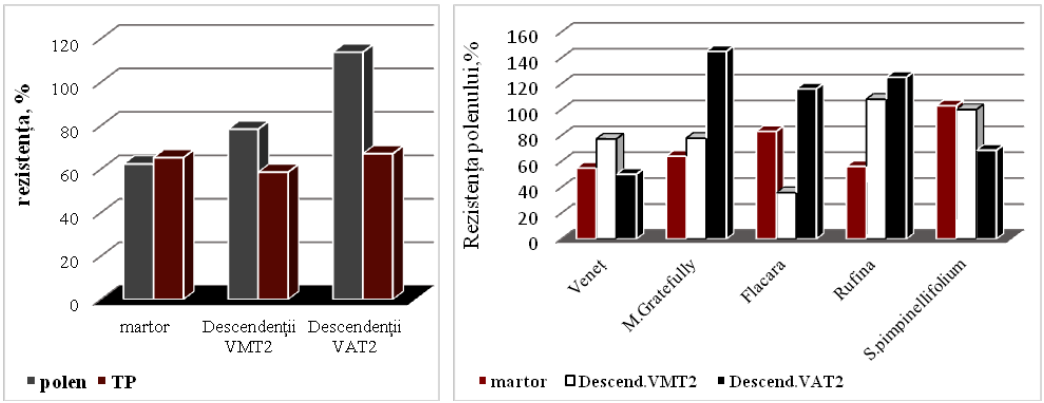
Prin urmare, pentru elaborarea strategiilor de ameliorare ale genotipurilor rezistente la temperaturi ridicate, este necesar de a lua în considerare informațiile privind particularitățile reactivității microgameților la stresul termic, deoarece genotipurile care demonstrează o stabilitate sporită la etapele reproductive, în majoritatea cazurilor, sunt mai adaptative.

Conform rezultatelor analizei dispersionale variația caracterelor gametofitului mascul în condiții de deficit hidric a fost controlată de genotip ($P<0,001$), deficitul

hidric și interacțiunea acestora. Contribuția genotipului în variabilitatea viabilității polenului a constituit 28,8…37,7%, ceea ce a depășit de 1,9…2,4 ori cota de influență a genotipului în variația acestui indiciu la plantele reinfectate; acțiunea deficitului hidric a cauzat 16,1…34,7% a modificării viabilității polenului. Totodată, la descendenții VMT2/VAT2, cât și la plantele reinfectate, deficitul hidric a provocat partea majoră a variabiltății tuburilor polenice - 79,1…82,9%.

Rezultatele analizei viabilității polenului după coraportul experiență/martor, care indică nivelul de termorezistență a genotipurilor, au demonstrat că valorile acestui caracter, la descendenții VMT2/VAT2 au fost similare și au constituit 61,0%, termorezistența TP a variat în limitele 52,7…54,3%. Descendenții VMT2/VAT2 au atestat un nivel de termorezistență mai înalt comparativ cu varianta martor (Figura 2A). De menționat, că la plantele primar infectate și reinfectate cu virusuri, acest indiciu a fost mai redus față de martor de 1,4…1,7 ori. Printre genotipurile investigate s-au evidențiat descendenții VMT2 Mary Gratefully, *S. pimpinellifolium* și Rufina VMT2/VAT2, care au îmbinat nivelul înalt de termorezistență al polenului (61,3…90,9%) și al tuburilor polenice (48,5…60,5%).

Rezultatele analizei rezistenței microgametofitului la deficitul hidric au stabilit la descendenții VMT2/VAT2 un nivel de rezistență mai mare față de martor cu 7,6 și 28,0%. Printre genotipurile studiate s-au evidențiat soiurile Venеț VMT2, Mary Grateully VMT2/VAT2, Rufina VMT2/VAT2 și *S. pimpinellifolium,* cu nivelul de rezistență 77,3…108,0%. Soiurile (VAT2) Mary Grateully, Rufina și Flacăra au atestat o rezistență înaltă de 116,0…145,0%, ce semnificativ a depășit valorile martorului (Figura 2B).



A **B**

Figura 2. Rezistența polenului la temperaturi ridicate **(A)** și deficit hidric **(B)**

CONCLUZII

❖ Descendenții de tomate VMT2/VAT2 au manifestat răspunsuri specifice, asociate cu modificarea producției și activității gametofitului mascul; variabilitatea stabilită

a fost influențată prioritar de genotip - 34,0…74,0%, fapt important pentru elucidarea bazei genetice a genotipurilor reinfectate cu virusuri și a descendenților acestora, cât și pentru lucrările de ameliorare.

❖ Tratarea termică a polenului la descendenții VMT2/VAT2 a contribuit la manifestarea modificărilor funcționale ale polenului, care în funcție de genotip s-au exprimat prin efecte stimulative sau inhibitoare; factorul termic a avut pondere decisivă în variabilitatea lungimii tuburilor polenice și termorezistenței microgameților – 49,3…76,1%, ceea ce relevă norma de reacție extinsă a acestor caractere. Descendenții VMT2 Mary Gratefully, *S. pimpinellifolium* și Rufina VMT2/VAT2, s-au evidențiat prin gradul înalt de termorezistență al polenului și al tuburilor polenice.

❖ Cultivarea *in vitro* a grăuncioarelor de polen pe medii cu deficit hidric a cauzat variabilitatea activității acestora, care a fost determinată pentru VP de genotip cu 28,8…37,7% și de deficitul hidric cu 16,1…34,7%, iar variația dimensiunilor TP a fost dependentă primordial de stresul hidric – 79,1…82,9%. La toate genotipurile incluse în studiu, nivelul mediu al rezistenței polenului la acest factor a fost destul de înalt și a variat în limitele a 77,3…108,0%.

REFERINȚE:

1. IMMLER, S. Haploid selection in “diploid” organisms. In: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2019. 50. p. 219-236.
2. PACINI, E., DOLFERUS, R. Pollen Developmental Arrest: Maintaining Pollen Fertility in a World With a Changing Climate. Front. In: *Plant Sci.,* 2019. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00679.
3. XU, J., WOLTERS-ART, M., MARIANI, C. et al. Heat stress affects vegetative and reproductive performance and trait correlations in tomato (*Solanum lycopersicum*). In: *Euphytica.* 2017. 213. p.1–12.
4. DRIEDONKS, N., WOLTERS-ART, M., HUBER, H. et al. Exploring the natural variation for reproductive thermotolerance in wild tomato species. In: *Euphytica*. 2018. 214. p. 67.
5. MISHRA, R., SHTEINBERG, M., SHKOLNIK, D. et al. Interplay between abiotic (drought) and biotic (virus) stresses in tomato plants. In: *Mol Plant Pathol.* 2022. 23(4). p. 475-488.
6. GONZÁLEZ, R., BUTKOVIĆ, A., ESCARAY et al. Plant virus evolution under strong drought conditions results in a transition from parasitism to mutualism. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2021. DOI: 10.1073/pnas.2020990118
7. AGUILAR, E., CUTRONA, C., DEL TORO, F. et al. Virulence determines beneficial trade-offs in the response of virus-infected plants to drought via induction of salicylic acid. In: *Plant, Cell & Environment*. 2017. 40. p**.** 2909–2930.

8. КОРОЛЬ В.Г. Опыление и плодообразование у культуры томата в защищенном грунте. In: *Овощи России*. 2019. 3. p. 32-36.
9. SATO, S., PEET, M., THOMAS, J. Physiological factors limit fruit set of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) under chronic, mild heat stress. In: *Plant Cell Environ.* 2000, 23, p.719–726. ISSN: 1365-3040.

N.B. *Cercetările au fost realizate în cadrul subprogramului 011101 „Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.*

TREATMENTS WITH OZONATED WATER AGAINST THE PARASITIC NEMATODES MELOIDOGYNE INCOGNITA IN TOMATO

TRATAMENTE CU APĂ OZONATĂ ÎMPOTRIVA NEMATODELOR PARAZITE MELOIDOGYNE INCOGNITA LA ROȘII

CZU: 632.935.2:632.651:635.64 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.18**

Nicola SASANELLI
ORCID: 0000-0001-9783-2687
E-mail: sasanelli.n@gmail.com
Institute for Sustainable Plant Protection, Italy

Elena IURCU STRAISTARU
ORCID: 0000-0003-3499-0084
E-mail: iurcuelena@mail.ru
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Stefan RUSU
ORCID: 0000-0002-3204-5436
E-mail: rusus1974@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Alexei BIVOL
ORCID: 0009-0003-5709-7173
E-mail: bivolalexei65@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Ion TODERAS
ORCID: 0000-0001-6159-5325
E-mail: iontoderas@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Alena N. KONRAT
ORCID: 0000-0003-1968-517X
E-mail: alenakonrat@vniigis.ru
Federal State Budget Scientific Institution, Federal Scientific Centre VIEV of RAS, Moscow, Russia

Sumar. *Lucrarea „Tratamente cu apă ozonată împotriva nematodelor parazite Meloidogyne incognita la roșii" prezintă rezultatul unei serii de experimente în ghivece, în care a fost testată eficacitatea tratamentelor cu apă ozonată, aplicată solului pentru controlul nematodului cu nodozități radiculare. Tratamentul cu apă ozonată (cu potențial de oxidare-reducere – ORP – 800 mV) a fost aplicat pentru 15, 30 și 60 de zile și comparat cu două controale: un control chimic (fenamifos) și un control netratat, fiecare cu zece repetiții. Apa ozonată a fost aplicată în trei regimuri: la transplantare și 15 zile după, timp de 30 de zile, respectiv 60 de zile. Fenamifosul a fost aplicat în sol la transplantare. După două luni, plantele de roșii (soiul Super Marmande) au fost evaluate pentru indicele de nodozități radiculare (RGI) și densitatea populației de nematozi (Pf). Analiza statistică a evidențiat o reducere semnificativă a RGI și Pf în cazul tratamentelor cu apă ozonată față de controlul netratat, deși valorile au rămas mai mari comparativ cu controlul chimic.*

Cuvinte-cheie: *Apă ozonată, infestare, nodozități radiculare, nematozi.*

INTRODUCTION

Plant protection from plant parasitic nematodes are based on control methods at low enviromental impact according to the recent European legislation [1]. From 2005 a soil disinfestation process based on the use of ozone have been set up by University of Bari (patent N° 05 017 372.3). Either in plastic house and open field conditions, symptoms of corky root on tomato were significantly reduced by the use of ozone treatments as gas or aqueous solutions [2]. Moreover, ozone treatments are effective in seed disinfestation against many soil plant pathogens [3]. Information on application times and concentrations of ozonated water as a new eco-friendly nematode control method is rather scarse. Therefore, a tomato pot experiment was undertaken to ascertain the effect of different soil ozonated water treatments, applied for different periods, as a new control measure against the widespread plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita*.

MATERIALS AND METHODS

A *Meloidogyne incognita* (Kofoid *et* White) Chitw. infested soil with an initial population density of 30 eggs and juveniles/mL soil was used to fill clay pots (V=1 L). A one month old tomato seedling (cv. Super Marmande) was tranplanted in each pot. Pots were arranged according to a randomized block design in a glasshouse at 25 ± 2°C with ten replications/treatment. Treatments were: i) ozonated water (OW) applied at transplant and for 15 days later; ii) OW applied for 30 days and iii) OW applied for 2 months.

An untreated and fenamiphos treated soils (62.5 L/ha) were used as controls. Ozonated water was produced *in situ* by an ozone generator until an ORP of 800 mV dissolving the ozone gas in water and then using OW for watering. Two months later plants were uprooted to assess the severity of nematode attck on tomato root according to Bridge and Page's scale [4]. Final nematode population density (*Pf*) in each pot was determined summing nematodes (eggs and juveniles) extracted from the soil, processing 500 mL soil by the Coolen's method [5], and those extracted from the roots by the

Hussey and Barker's method [6]. Data from the experiment were subjected to analysis of variance and means compared by the Leates Significance Difference's test (LSD's test) at P=0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

Root gall index (RGI) was significantly reduced in all OW treatments in comparison to the untreated control. However RGI in OW treated plants resulted significantly higher than those observed in plants treated with fenamiphos (Table 1.). Treatment with OW applied at transplant and for 15 days, although effective to reduce RGI, was not sufficient to reduce *Pf* in comparison to the untreated control. The other two OW treatments applied for 30 and 60 days were significantly effective to reduce final nematode population density and the reproduction factor (*r=Pf/Pi*) (Table 1.) compared to the untrteated control. No difference were observed among the last two OW treatments and fenamiphos.

Table 1. Suppressive effect of ozonated water treatments at different application times (15, 30 and 60 days) on *Meloidogyne incognita* infesting tomato plants (cv. Super Marmande)

Treatment	Ozonated water				UC
Application time	At transplant				---
	x 2 weeks	x 1 month	x 2 months	Fen	
RGI (0-10)	3.8* b**	4.2 bc	5.0 c	2.7 a	6.0 d
Eggs + J2/g root (x 1,000)	51 a	40 c	41 bc	22 d	49 ab
Pf/10 mL soil (x 100)	17 a	72 b	77 b	73 b	14 a
Reproduction factor	58 a	25 b	26 b	25 b	49 a

Fen = Fenamiphos (nematicide); UC = Untreated control.

*Each value is an average of ten replications;

**Data flanked in each row by the same letters are not statistically different according to Least Significance's Test (P=0.05).

CONCLUSIONS

On the base of obtained results, ozonated water treatments could be considered as a new eco-compatible control method against plant parasitic nematodes considering their no chemical residues and a very low human toxicity.

REFERENCES:

1. SASANELLI, N., KONRAT, A., MIGUNOVA, V. TODERAS, I., IURCU-STRAISTARU, E., RUSU, S., BIVOL, A., ANDONI, C., VERONICO, P. Re-

view on Control Methods against Plant Parasitic Nematodes Applied in Southern Member States (C Zone) of the European Union. *Agriculture* 2021, 11, 602.

2. CICCARESE, F., LONGO, O., SCHIAVONE, D., AMBRICO, A., ZIADI, T., SASANELLI, N. Control of corky root on tomato in open field by ozone fumigation. In: *Proceedings of the 12th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union*, 2006, 11-15 June, p. 549-551.
3. CICCARESE, F., N. SASANELLI, T. ZIADI, M. GALLO, PAPAJOVA, I. 2007. Seed disinfestation by ozone treatments. *Journal of Plant Pathology,* 2007, 89 (3): 14. ISSN 1125-4653.
4. BRIDGE, J., PAGE, S.L.J. Estimation of root-knot infestation level on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management*, 1980, 26, 296-298.
5. COOLEN, W.A. Methods for the extraction of Meloidogyne spp. and other nematodes from roots and soil. In: *Root-knot nematodes* Meloidogyne *species Systematics, Biology and Control*, 1979, 317-329.
6. HUSSEY, R.S., BARKER, K.R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Dis. Reptr*., 1973, 57, 1025-1028.

EVALUAREA STABILITĂȚII GENETICE ÎN FAZA VEGETATIVĂ TIMPURIE LA *TRITICUM AESTIVUM* L. PENTRU RĂSPUNSUL UNOR CARACTERE MORFOLOGICE LA STRESUL DE SECETĂ ȘI CĂLDURĂ

EVALUATION OF GENETIC STABILITY IN EARLY VEGETATIVE PHASE OF *TRITICUM AESTIVUM* L. FOR THE RESPONSE OF SOME MORFOLOGICAL TRAITS TO DROUGHT AND HEAT STRESS

CZU: 633.11:631.523:632.11 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.19**

Elena SAȘCO
ORCID: 0009-0003-1014-4016
E-mail: elenasasco5@gmail.com
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *Variations in climatic conditions account for approximately 36% of the variability in global winter wheat yield.* The combination of drought and heat factors can have complex and sometimes contradictory effects compared to when they act separately. *Traits such as Stem Length and Plant Vigor showed drastic reductions in response to drought stress induced by 16% PEG under a temperature of 22°C. The genotype M66 demonstrated index stability, indicating a high level of tolerance. In response to the combined action of drought and high temperature (43°C), the genotype LMO/M79 exhibited moderate susceptibility. Analysis of variance revealed differences in trait responses. Under combined drought and heat stress, the cumulative effect of the Genotype factor and the Genotype × Moisture Restriction interaction increased by 14.8% and 61.6%, respectively, compared to their effects under drought stress alone. Wheat varieties M614 and M66 demonstrated increased tolerance in the morphological trait responses to high temperature and combined drought and heat stress. The genotype LMO/M79 showed varying levels of susceptibility in the Tolerance Index under the three abiotic stress conditions.*

***Cuvinte cheie: Indice de Toleranță, Indice de Vigoare a Plantelor, Stres de secetă și căldură, Triticum aestivum* L.**

Keywords: Drought and heat stress, Plant Vigor Index, Tolerance Index, Triticum aestivum L.

INTRODUCERE

Grâul (*Triticum aestivum* L.) deține o poziție unică și crucială în agricultura globală. Fiind cea mai răspândită cultură alimentară, grâul este clasat pe locul doi în funcție atât de suprafața cultivată, cât și de volumul total al producției. Grâul furnizează o proporție semnificativă din caloriile și mineralele alimentare și aproximativ 20% din proteinele necesare. Potrivit estimărilor FAO, producția mondială de grâu în a.2023 a fost una din cele mai mari din istorie. În Europa, cultivat pe aproximativ 61,2 milioane de hectare,

grâul a prezentat o producție totală de 269,3 milioane de tone, randamentul mediu fiind de 4,4 t/ha. Contribuția Republicii Moldova a fost de 1,6 milioane de tone, cu o productivitatea medie de 4,1 t/ha [5]. Prezentând o poziție importantă în comerțul internațional, volumul producției mondiale de grâu în anul de comercializare 2024/25 a ajuns la aproape 793 de milioane tone, ce reprezintă o creștere de aproximativ două milioane de tone în comparație cu anul precedent [17].

Impactul schimbărilor climatice atestă o gravă amenințare la adresa agriculturii durabile pe parcursul ultimilor decenii. Extremele de temperaturi asociate cu precipitațiile joase necesită atenuarea efectului acestora prin dezvoltarea de genotipuri de grâu cu adaptabilitate înaltă la factorii de stres abiotic. La nivel global, variațiile condițiilor climatice explică aproximativ 36% din variabilitatea randamentului grâului de toamnă [11,14]. Combinația acestor stresuri pot avea efecte contradictorii și complexe în comparație cu cele de stres individual [8]. Seceta este cel mai important stres de mediu care poate limita sever germinarea semințelor și creșterea timpurie a grâului prin perturbarea diferitelor procese fiziologice [10]. Stresul cauzat de căldură sau de secetă manifestă impact negativ asupra grâului atât în stadiul vegetativ, cât și în cel reproductiv, cauzând pierderi de randament de până la 40% - 60%, totodată, efectul lor combinat în fazele de înflorire și umplere a semințelor poate provoca pierderi mult mai severe [11, 15, 16, 18].

Studii recente vizează remobilizarea masei uscate în organele de creștere în pre-antesă și acumularea acesteia prin fotosinteză în timpul umplerii boabelor. Stresul termic combinat cu seceta a crescut partiționarea carbohidraților solubili în apă în genotipurile de grâu locale vechi, în timp ce recuperarea a fost absentă în soiurile australiene moderne [3, 9]. Amorsarea prin secetă în timpul etapei vegetative generează un răspuns de protecție mai rapid și mai eficient la stresul de temperatura ridicată. Mecanismele de modificare a deteriorării membranei celulare și creștere a activității enzimelor antioxidante a promovat termotoleranța și la genotipurile susceptibile [7].

In scenariul schimbărilor climatice, studiul prezent are scopul de a identifica, în baza unor trăsături morfologice, surse tolerante la secetă și temperaturi ridicate în germoplasma de grâu comun autohton.

MATERIAL ȘI METODĂ

Cinci genotipuri de grâu comun: L Mirgorod/Odeschi162 /Moldova79 (LMO/M79), L Moldova79 /Mirgorod/Odeschi162 (LM79/MO), L Moldova5 /Mirgorod/Odeschi162 (LM5/MO), Moldova 614 (M614) și Moldova 66 (M66) au fost investigate pentru răspunsul unor caractere morfologice la acțiunea factorilor de secetă și căldură în condiții controlate de laborator. Semințele au fost igienizate în alcool etilic (80%) și clorură de calciu (10%), pregerminate timp de 2 ore la 30°C și distribuite între 2 foi de hârtie de filtru în vase Petri. Restricțiile de umiditate (*RU*), produse de apă distilată (Martor) și soluție apoasă a 2 concentrații PEG 6000 (10% și 16% d/v) au fost aplicate în 2 seturi de variante, cutiile fiind menținute 5 zile la întuneric la temperatura optimă de 22^{o} C. După

5 zile de cultură, variantele unuia din seturi au fost supuse pentru 2 ore la temperatura de 43° C și menținute timp de 2 zile pentru reabilitarea proceselor fiziologice la 22°C [4, 6].

Variabilitatea fenotipică pentru caracterele Potențial de Germinare (*PG*), Lungimea Rădăcinii și Tulpinii (*LR* și *LT*), Masa Uscată a Rădăcinii și Tulpinii (*MUR* și *MUT*) a fost înregistrată, respectiv, după 5 și 7 zile de cultură. Evaluarea răspunsului fenotipic la acțiunea stresului hidric și a temperaturii ridicate a fost efectuată utilizând Indicele de Vigoare a Plantelor (*VP*), calculat conform formulei *VP* = *PG* (%) x *LP* (cm) / 100 [10, 12]. Răspunsul fenotipic de toleranță la acțiunea factorilor de stres a fost calculat în baza Indicelui de Toleranță (*IT*) [2].

Rezultatele au fost prelucrate conform testului ANOVA, pachetul de soft STATISTICA 7.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Caracterele cercetate au manifestat diminuare, stimulare, dar și creștere la nivelul variantei martor în răspunsul la acțiunea restricțiilor de umiditate în condiții de temperatură favorabilă (22^o C). Astfel, atât *PG*, cât și *LR* au fost slab afectate de restricțiile de umiditate induse de PEG în concentrațiile de 10%, fiind manifestată chiar și stimularea acestora. Fenomenul de toleranță a trăsăturilor la acțiunea stresului hidric de intensitate joasă a fost relatat în mai multe cercetări [10, 13]. Parametrii *PG* și *LR* au manifestat corelații semnificative înalte (*r = 0,72* și *r = 0,81*) cu indicele *VP*. Genotipurile LMO/M79, LM5/MO și M66 au prezentat stabilitate pentru *PG*, pe când LM79/MO, LM5/MO și M 614 – pentru fenotipul *LR*. Limitarea creșterii *LT* reflectă sensibilitatea înaltă a organelor aeriene la acțiunea factorilor de stres de secetă. Răspunsul fenotipic al trăsăturilor morfologice în condiții de secetă ca rezultat al interacțiunii *genotip* x *mediu* este o formă de adaptabilitate la condițiile aride [1, 13]. Masa uscată *MUR* și *MUT* a variat în diapazon larg, respectiv 4,09…5,98 și 4,94…6,48. O stabilitate a parametrilor a fost manifestată pentru *MUR* la genotipurile LM5/MO, M614 dar și la M66, pe când pentru *MUT* – la LMO/M79 și LM5/MO. În condițiile de secetă moderată (PEG16%) indicele integral *VP* a fost diminuat cu 27,2%, 22,1%, 26,0% și 18,8%, respectiv pentru LMO/M79, LM79/MO, LM5/MO și M614, genotipurile de grâu fiind atestate cu susceptibilitate de diferită gradație. Indicele *VP* a înregistrat stabilitate doar în răspunsul genotipului M66 (Tabelul 1).

Tabelul 1. Variabilitatea caracterelor morfologice la grâul comun în răspunsul la tratamentele de restricții de umiditate la temperatura de 22^{o}C

G	*TU*	*PG*	*LR*	*LT*	*MUR*	*MUT*	*VP*
LMO/M79	Apă	82,2	108,4	62,1	4,56	5,56	14,0
	PEG10%	76,6	102,3	44,1	4,09	5,23	11,2
	PEG16%	77,8	90,4	38,8	4,39	5,87	10,1

LM79/MO	Apă	76,7	88,4	59,2	5,15	5,75	11,3
	PEG10%	75,1	92,0	51,2	4,71	5,45	10,8
	PEG16%	63,3	87,1	51,2	4,63	4,94	8,8
LM5/MO	Apă	84,4	85,5	61,3	5,68	6,12	12,5
	PEG10%	94,4	99,5	52,8	5,98	6,07	14,4
	PEG16%	75,8	90,8	53,1	5,87	6,48	10,5
M614	Apă	76,7	99,1	68,3	5,49	6,22	12,8
	PEG10%	86,7	101,5	54,7	5,52	5,28	13,5
	PEG16%	66,7	97,5	58,6	5,57	5,26	10,4
M66	Apă	70,1	91,8	57,5	4,85	6,05	10,6
	PEG10%	78,9	100,2	59,0	5,32	5,06	12,5
	PEG16%	74,4	84,6	42,1	5,27	5,03	9,4

Caracterele morfologice au stabilit răspunsuri unice de diminuare, majorare, dar și de manifestare a variabilității fenotipice în condiții de acțiune concomitentă a restricțiilor de umiditate de intensitate joasă și a stresului termic de 43° C. Astfel, au fost valorificate *PG* (LM5/MO), *LR* și/sau *LT* (LM79/MO, LM5/MO, M614 și M66). Ca urmare, genotipurile citate au manifestat performanță pentru indicele integral *VP* în raport cu martorul respectiv, ceia ce le atestă ca tolerante la acțiunea asociată a factorilor de stres vizați. Genotipurile LM79/MO, LM5/MO și M66 au manifestat stabilitatea indicelui integral *VP* la nivelul martorului și în condițiile de acțiune simultană a restricțiilor moderate de umiditate (PEG16%) cu stresul termic de 43°C ca rezultantă a stabilității parametrilor *PG*, *LR*, dar și *LT*. Amorsarea de 5 zile prin secetă a condus manifestarea unei toleranțe la stresul de temperatură ridicată [7]. Masa uscată *MUR* a prezentat cele mai joase valori pentru LMO/M79, manifestând nivel jos de reabilitare a proceselor fiziologice. Indicele integral *VP* pentru genotipul dat a fost redus la 80,0% și 72,1% din martor. Genotipul LMO/M79 a fost afectat puternic de stresul de căldură în ambele condiții de secetă manifestând susceptibilitate moderată pentru fenotipul *VP* (Tabelul 2).

Tabelul 2. Variabilitatea caracterelor morfologice la grâul comun
în răspunsul la acțiunea asociată a factorilor de secetă și temperatură

G	*TU*	*PG*	*LR*	*LT*	*MUR*	*MUT*	*VP*
LMO/M79	Apă	87,8	93,0	62,2	4,84	6,25	13,6
	PEG10%	73,9	100,4	60,3	4,75	5,92	11,8
	PEG16%	73,3	102,1	57,2	4,66	5,86	11,3
LM79/MO	Apă	68,9	85,5	68,6	5,44	6,40	10,6
	PEG10%	68,3	104,0	72,8	6,25	6,70	12,9
	PEG16%	68,2	98,0	65,9	5,86	6,20	11,0
LM5/MO	Apă	77,8	84,6	66,2	6,35	7,08	11,7
	PEG10%	94,4	99,0	64,3	6,83	6,85	13,4
	PEG16%	86,8	98,2	62,1	6,62	7,33	12,1

M614	Apă	84,6	93,7	57,5	5,42	6,68	12,8
	PEG10%	82,2	117,8	75,5	6,49	7,45	13,9
	PEG16%	83,3	92,1	61,5	5,79	5,99	12,2
M66	Apă	82,2	92,4	55,2	5,26	6,27	12,0
	PEG10%	76,6	116,4	75,0	6,4	6,70	13,7
	PEG16%	71,1	99,9	65,7	6,23	6,18	11,8

Analiza varianței (testul ANOVA) a relevat că în condiții de temperatură optimă genotipul de grâu a contribuit cu cea mai înaltă pondere în manifestarea fenotipică a trăsăturii *MUR* (89,1%). Restricțiile de umiditate (*RU*) au produs cea mai înaltă rată de variabilitate pentru fenotipul *IV*, *LT*, *PG* și *MUT* (82,0%, 73,6%, 69,3% și 45,4%). În răspunsul trăsăturilor morfologice în condiții de acțiune asociată a stresului de secetă și temperatură ridicată efectul sumar al factorilor *G* și de interacțiune *G x RU* a crescut cu 14,8% și 61,6% (Tabelul 3).

Tabelul 3. Medii pătrate (*MP*) și componente de variație (*CV*) pentru genotip (*G*), restricții de umiditate (*RU*) și efecte de interacțiune (*G* x *RU*)

Surse de variație	*G*		*RU*		*G* x RU	
Grad de libertate	4		2		8	
Trăsături	*MP*	*CV*	*MP*	*CV*	*MP*	*CV*
	Condiții optime de temperatură, 22° C					
PG	161,4	18,6***	601,1	69,3***	98,4	11,3***
LR	221,9	36,1***	306,9	49,9***	77,2	12,5***
LT	173,7	18,0***	708,3	73,6***	77,5	8,1***
MUR	3,079	89,1***	0,230	6,7	0,14	4,1
MUT	1,661	29,6**	2,548	45,4**	1,04	18,6*
Indicele VP	46830	11,3***	33994	82,0***	2615	6,3***
	Stres termic la temperatura de 43° C, cu durata de 2 ore					
PG	*311,4*	*50,0****	49,6	8,0**	254,1	40,8***
LR	121,2	8,5***	1180	83,0***	108,2	7,6***
LT	186,1	28,1***	393,4	59,5***	77,9	11,8***
MUR	3,557	55,1***	1,762	27,3**	0,891	13,8**
MUT	3,566	69,1***	0,851	16,5**	0,606	11,7**
Indicele VP	27834	21,8***	81744	64,1***	16131	12,7***

* ,** și *** – suport statistic pentru $p < 0,05$, $p < 0,01$ și $P<0,001$.

Pentru identificarea surselor genetice de toleranță la acțiunea separată/asociată a factorilor de secetă și căldură a fost utilizat Indicele de toleranță (*IT*), care reprezintă rezultanta raportului valorilor fenotipice în condiții de stres la cele atestate în condiții de martor, exprimat prin diferența acestora în procente [2]. Algoritmul aglomerativ-iterativ

(*Ward`s method*) a stabilit similaritate în răspunsul *IT* pentru LM79/MO, M5/MO, M614 și M66 în interacțiune cu disecatul PEG10%, genotipurile 3, 5, 6, 7, 9 au fost încadrate în clusterul cu toleranță ridicată (A). Genotipurile LM79/MO, M614, M66 (3, 7, 9, 10) au manifestat nivel ridicat de toleranță la acțiunea concomitentă a factorilor de secetă moderată și căldură (B). Soiurile de grâu omologate M614 și M66 (3, 4) au atestat toleranță sporită la acțiunea separată a factorului de temperatură înaltă (C). Totodată, genotipul LMO/M79 a fost separat în subclusterul cu cele mai diminuate valori *IT* în cele 3 condiții de stres, atestând diverse niveluri de susceptibilitate (Figura 1, A, B și C).

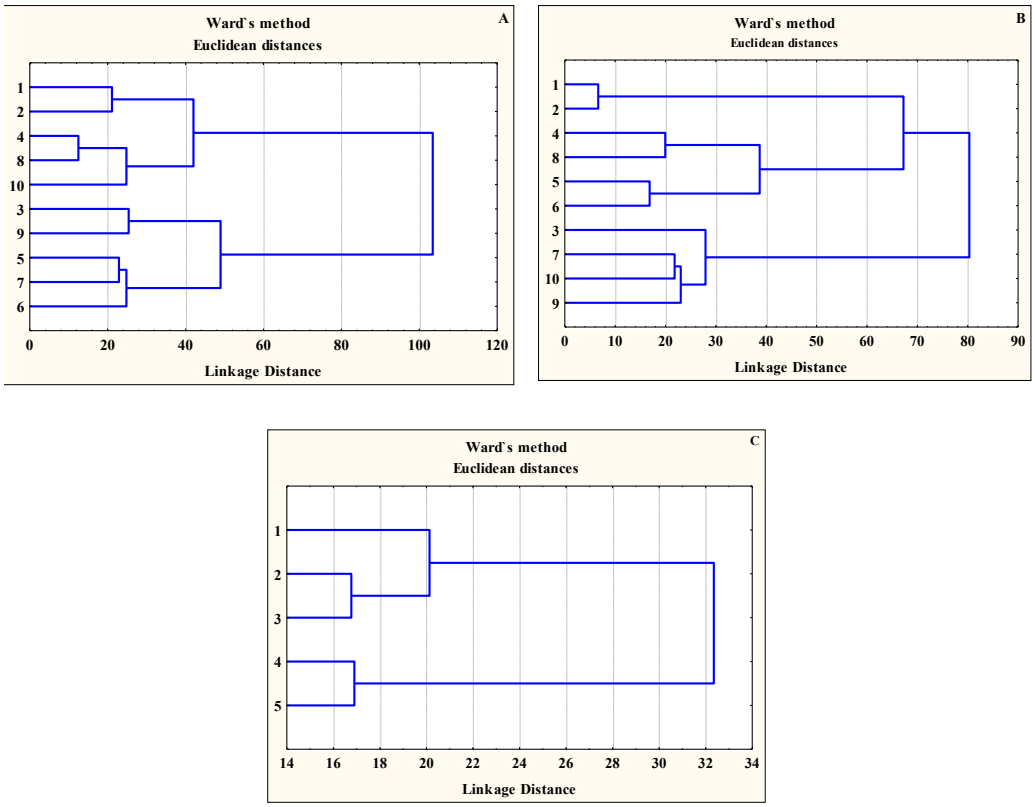


Figura 1. Distribuția (*Ward`s method*) genotipurilor de grâu în baza indicelui de toleranță la acțiunea restricțiilor de umiditate (A), combinației de secetă și căldură (B) și stresului termic (C)
Pe verticală (A, B): 1, 2–LMO/M79; 3, 4–LM79/MO; 5, 6–LM5/MO; 7, 8–M614; 9, 10–M66; 1, 3, 5, 7, 9–PEG10%; 2, 4, 6, 8, 10–PEG16%;
Pe verticală (C): 1–LMO/M79; 2–LM79/MO; 3–LM5/MO; 4–M614; 5–M66.

CONCLUZII

Trăsăturile *Lungimea Tulpinii* și *Vigoarea Plantei* au înregistrat diminuări drastice în răspunsul la acțiunea secetei produse de disecatul PEG 16% în condiții de temperatură

22o C. Genotipurile LMO/M79, LM79/MO, LM5/MO și M614 au manifestat susceptibilitate de diferită gradație pentru indicele *Vigoarea Plantei.* Genotipul M66 a înregistrat o stabilitate a indicelui.

În răspunsul la acțiunea concomitentă a factorilor de secetă și temperatură ridicată genotipul LMO/M79 a manifestat susceptibilitate moderată pentru fenotipul *Vigoarea Plantei*.

Analiza varianței (testul ANOVA) a relevat existența unor diferențe semnificative în formarea răspunsului pentru caracterele investigate. În condiții de acțiune asociată a factorilor de secetă și căldură în raport cu stresul individual de secetă a crescut efectul sumar al factorilor *Genotip* și interacțiune *Genotip x Restricții de Umiditate*. Soiurile de grâu M614 și M66 au atestat toleranță sporită în răspunsul la acțiunea factorului de temperatură ridicată, dar și la acțiunea combinată a factorilor de secetă și căldură. Genotipul LMO/M79 a atestat diverse niveluri de susceptibilitate în cele 3 condiții de stres abiotic.

Cercetările au fost realizate în cadrul proiectului "***Identificarea și valorificarea genitorilor valoroși de culturi agricole în crearea unei baze genetice autohtone de interes socio-economic*" (2024-2025)**, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare.

REFERINȚE:

1. AHMED, H. et al. Selection Criteria for Drought-Tolerant Bread Wheat Genotypes at Seedling Stage. In: *Sustainability.* 2019. Vol. *11*(9) 2584. https://doi.org/10.3390/su11092584
2. DEVI, S., SINGH, V., and NARESH, H. Evaluation of wheat genotypes for yield potential under combined drought and heat stress conditions. In: *Journal of Cereal Research*. 2022. Vol.14(1), p.37-43. http://doi. org/ 10.25174/2582-2675/2022/119784
3. El HABTI, A. et al. Tolerance of Combined Drought and Heat Stress Is Associated With Transpiration Maintenance and Water Soluble Carbohydrates in Wheat Grains. In: *Front. Plant Sci.* 2020. 11:568693. doi: 10.3389/fpls.2020.568693
4. GUPTA, N.K. et al. Effect of short-term heat stress on growth, physiology and antioxidative defence system in wheat seedlings. In: *Acta Physiol. Plant*., 2013. Vol.35, p. 1837–1842. doi: 10.1007/s11738-013-1221-1
5. FARHAD, M. et al. Heat stress in wheat: a global challenge to feed billions in the current era of the changing climate. In: *Food Syst*. 2023. Vol.7:1203721. doi: 10.3389/fsufs.2023.1203721
6. FAO: https://www.statista.com/topics/1668/wheat/ citat: 28.02.2025
7. KUMAR, R. et al. Drought priming induced thermotolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) during reproductive stage; a multifaceted tolerance approa-

ch against terminal heat stress. In: Plant Physiology and Biochemistry. 2023. Vol.201. 107840 doi: 10.1016/j.plaphy.2023.107840.

8. LAMA, S. et al. Impacts of heat, drought, and combined heat–drought stress on yield, phenotypic traits, and gluten protein traits: capturing stability of spring wheat in excessive environments. In: *Front. Plant Sci.* 2023. 14:1179701. doi: 10.3389/fpls.2023.1179701
9. LI, Q. et al. Temporal dynamics of pre-flowering dry matter remobilization and post-flowering photosynthetic compensation in wheat under combined high temperature and drought stress. In: *Plant Growth Regulation*. https://doi.org/10.1007/s10725-025-01336-0
10. MOHI-UD-DIN, M. et al. Multivariate Analysis of Morpho-Physiological Traits Reveals Differential Drought Tolerance Potential of Bread Wheat Genotypes at the Seedling Stage. In: *Plants*. 2021. Vol.10, 879. https://doi.org/10.3390/plants10050879
11. OBEMBE, O., HENDRICKS, N., TACK J. Decreased wheat production in the USA from climate change driven by yield losses rather than crop abandonment. In: *PLoS One*. 2021. Vol.16(6): e0252067. oi: 10.1371/journal.pone.0252067
12. QADIR, S.A. Wheat Grains Germination and Seedling Growth Performance under Drought Condition. In: *Basrah J. Agric. Sci.* 2018. Vol.31(2), p.44-52.
13. RAVEENA, BHARTI, R., CHAUDHARY, N. Drought Resistance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). In: *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019. Vol.8(09). DOI:10.20546/ijcmas
14. RAY, D.K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability. In: *Nature Communications*. 2015. Vol.6: 5989. doi:10.1038/ncomms6989
15. SAREEN, S. et al. Resilience to Terminal Drought, Heat, and Their Combination Stress in Wheat Genotypes. In: *Agronomy*. 2023. Vol.13(891). https://doi.org/10.3390/agronomy13030891
16. SEWORE, B.M., ABE A., NIGUSSIE, M. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance using morphophysiological traits under drought-stressed and well-watered conditions. In: *PLoS ONE*, 2023. Vol.18(5) e0283347. https://doi.org/10.1371/journal
17. SHAHBANDEH, M. (2025). Wheat - statistics & facts. *Statista*. https://www.statista.com/topics/1668/wheat/ citat: 28.02.2025
18. SINGH S.P. et al. Effect of Drought Stress on the Morphological and Physiological Characterization of the Indian Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotype. In: *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*., 2018. Vol.7(8), p. 1144-1155

COMPOZIȚIA BIOCHIMICĂ ȘI VALOAREA NUTRITIVĂ A MASEI PROASPETE DE *SILPHIUM PERFOLIATUM* 'Vital' ÎN DEPENDENȚĂ DE PERIOADA RECOLTĂRII

THE BIOCHEMICAL COMPOSITION AND NUTRITIVE VALUE OF FRESH MASS OF SILPHIUM PERFOLIATUM 'Vital' DEPENDING ON THE HARVESTING PERIOD

CZU: 581.19:582.998.16:631.55 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.20**

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru",
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *We studied the quality indices of the fresh mass from local cultivar 'Vital' of Silphium perfoliatum cultivated in experimental plots at the National Botanical Garden (Institute) of Moldova State University, Republic of Moldova. It has been determined that the dry matter of green mass from studied Silphium perfoliatum contained 117-166 g/kg CP, 84-89 g/kg ash, 317-335g/kg CF, 554-615 g/kg NDF, 338-410 g/kg ADF, 46-60 g/kg ADL, 38-56 g/kg TSS, with nutritive and energy value 59.6-61.5% DDM, 9.69-9.97 MJ/kg ME and 5.71-5.98 MJ/kg NEl.*

Keywords: *biochemical composition, fresh mass, local cultivar 'Vital', nutritive value, Silphium perfoliatum.*

INTRODUCERE

Familia *Asteraceae* cuprinde 27.773 de specii anuale și perene de plante, unele din aceste specii prezintă interes economic fiind cultivate ca culturi alimentare, furajere, tehnice, melifere, ornamentale, medicinale etc. Genul *Silphium* L., tribul Heliantheae din cadrul familiei *Asteraceae*, este format din 17 specii acceptate de plante perene, naive din America de Nord. Dintre acestea, *Silphium perfoliatum* L., *Silphium laciniatum* L., *Silphium terebinthinaceum* Jacq. și *Silphium integrifolium* Michx. sunt investigate științific și prezintă interes pentru a fi valorificate în circuitul bioeconomic.

Silfia, *Silphium perfoliatum* L., familia *Asteraceae* este o plantă erbacee perenă, policarpică nativă din America de Nord, cu tulpină erectă în patru muchii cu perișori, în partea superioară ramificată, cu înălțimea de 250–370 cm și grosimea la bază de 2–4 cm. Frunzele de culoare verde deschisă, cordiforme, cu lungimea de 25–35 cm și lățimea de 16–22 cm, gofrate, aspre dințate, sunt amplasate opus pe tulpină, cele inferioare sunt cu pețiol, iar cele superioare, fiind concrescute, formează o cupă ce permite utilizarea eficientă a umidității și a radiației solare. Inflorescența compusă pe un racem fiind amplasate 20–30 de flori galbene cu diametrul de 3–5 cm, înflorirea se extinde pe o perioadă de

51–60 de zile, aceasta influenţează pozitiv asigurarea cu hrană a albinelor și permite colectarea a 150–220 kg/ha miere. Fructul este o achenă brună-surie cu aripioare. Masa a 1000 achene – 22–24 g. Productivitatea seminceră atinge 290–450 kg/ha. Dezvoltă un sistemul radicular pivotant cu extindere până la 3,5 m adâncime. Este o specie rezistentă la geruri din perioada de iarnă de -30 °C, deasemenea și la înghețurile de primăvară târzii de–7 °C. Primăvara își reia vegetația la temperatura solului de 3–5 °C, crește și se dezvoltă intensiv primăvara la temperaturi de 12–14 °C, iar în perioada de vară suportă temperaturile de 30 °C. Preferă solurile luto-argiloase și argiloase profund afânate. Valorifică bine solurile umede, dar și cele erodate, contaminate cu metale grele. Nu suportă solurile mlăștinoase [1]. Specia *Silphium perfoliatum* este în prezent subiectul unor investigații științifice în mai multe universități și centre științifice din întreaga lume, asociat cu potențialul economic ca plantă furajeră, meliferă, medicinală, tehnică și biomasă energetică [2-15].

Scopul cercetării a constat în evaluarea compoziției biochimice și valorii nutritive a furajului din plantelor de silfie *Silphium perfoliatum* în dependență de perioada recoltării.

MATERIALE ȘI METODE

În calitate de obiect de studiu a servit plantele de silfie *Silphium perfoliatum* soiul local‘Vital’ creat la Grădină Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru” a Universității de Stat din Moldova, înregistrat în Catalogul Soiurilor de Plante și brevetat la Agenția de Stat de Proprietate Intelectuală din Republica Moldova. Experiențele au fost montate în cultură pură pe terenul experimental al Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Alexandru Ciubotaru” din Chișinău. Mostrele de plante pentru evaluare. au fost prelevate în la demararea înfloririi (anul trei de vegetație, la 3 iulie) și la înflorirea deplină (anul șapte de vegetație, 24 august). Pentru evaluarea indiciilor de calitate plantele de silfie recoltate au fost mărunțite și supuse deshidratării în etuvă cu ventilaţie forţată la temperatura de 60°C, la finele fixării materialul biologic a fost măcinat fin la moara de laborator cu bile. Evaluarea conținutului de proteina brută (CP), cenuşa brută (CA), conţinutul de fibre prin tratare cu detergent neutru (NDF), conţinutul de fibre prin tratare cu detergent acid (ADF), conţinutul de lignină sulfurică (ADL), total zaharuri solubile (TSS) aplicând metoda spectrofotometriei infraroșu apropiat cu utilizarea echipamentului tehnic PERTEN DA 7200 din cadrul Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști Brașov, România cu metode standardizate. Conținutul de substanță uscată digestibilă (DDM), valoarea relativă a furajului (RFV), energia digestibilă (DE), energie metabolizantă (ME), energie netă lactaţie (NEl) s-a estimat conform ecuațiilor acceptate.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Este cunoscut faptul că conținutul de substanțe uscate și compoziția lor biochimică influențează asupra sănătății și productivității animalelor de fermă, dar și a conținutului de nutrienți în produsele animaliere obținute, carne și lapte. Rezultatele privitor la

compoziția biochimică și valoarea nutritivă a masei proaspete de *Silphium perfoliatum* sunt prezentate în Tabelul 1. S-a stabilit că substanța uscată din plantele de *Silphium perfoliatum* se caracterizează prin 117-166 g/kg proteină brută, 84-89 g/kg cenușă, 317-335g/kg fibră brută, 554-615 g/kg fibră detergent neutru, 338-410 g/kg fibra detergent acidă, 46-60 g/kg lignină sulfurică, 38-56 g/kg total zaharuri solubile. Valoarea nutritivă și încărcătura energetică a furajului din plantele de *Silphium perfoliatum* fiind de 596-615 g/kg substanță uscată digestibilă, 11.80-12.15 MJ/kg energie digestibilă, 9.69-9.97 MJ/kg energie metabolizantă, 5.71-5.98 MJ/kg energie netă lactație și cu o valoarea nutritivă relativă a furajului de 94-103 unități. Furajul de *Silphium perfoliatum* recoltat la demararea înfloririi se evidențiază printr-o concentrație mai ridicată de proteină brută, total zaharuri solubile, diminuată de carbohidrați structurali, fapt ce poate să influențeze pozitiv asupra valorii nutritive și încărcăturii energetice a rațiilor pentru animale de fermă.

În literatura de specialitate sunt prezentate date privitor la componența biochimică și valoarea nutritivă a furajului din plantele de *Silphium perfoliatum*. Conform datelor prezentate de Albrecht & Goldstein [16] plantele de silfie conțin 144-156 g/kg substanțe uscate, 15.8-18.2% proteină brută, 38.0-38.7% fibră detergent neutru și 28.4-29.4% fibra detergent acidă. Han și col. [17] a stabilit că valoarea furajeră a biomasei recoltată în perioada formării inflorescenței fiind de 11.35-11.38% cenușă, 29.42-32.00% fibra detergent acidă, 4.09-4.39% lignină sulfurică și 69.7-72.3% substanță digestibilă, pe când plantele recoltate la mijlocul perioadei de înflorire conțin 10.03-10.37% cenușă, 31.88-37.54% fibra detergent acidă, 5.05-6.52% lignină sulfurică și 52.2-63.5% substanță digestibilă. Абрамов [2] menționează că plantele de silfie recoltate în perioada formării inflorescenței conțin 193 g/kg substanțe uscate, 14.4% proteină brută, 2.1% grăsimi brute, 20.7% celuloză brută, 9.5% cenușă, 54.3% substanțe extractive neazotate, 24.6 mg% acid ascorbic, 15.5 mg% carotină, iar în plantele recoltate în faza de înflorire 230 g/kg substanțe uscate, 13.1% proteină brută, 2.0% grăsimi brute, 23.2% celuloză brută, 8.4% cenușă, 46.9% substanțe extractive neazotate, 29.1 mg% acid ascorbic, 13.9 mg% carotină. Țîței [18] remarcă că furajul de silfie recoltat la finele lunii Mai se caracterizează printr-o concentrație de 167.1 g/kg substanțe uscate, 16.33% proteină brută, 2.26% grăsimi brute, 24.70% celuloză brută, 14.16% cenușă, 42.55% substanțe extractive neazotate și o asigurare de 133.4 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă. Чупина & Степанов [19] raportează că valoarea furajeră a plantelor recoltate de *Silphium perfoliatum* în perioada formării infloriscenței fiind de 20.7 % proteină brută, 4.0% grăsimi brute, 24.5 % celuloză brută, 35.2 % substanțe extractive neazotate, 16.5 % cenușă, 0.61 unități nutritive/kg, 9.8MJ/kg energie metabolizantă, 223 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă și ar putea fi valorificate plantele de silfie la obținerea făinii de ierburi vitaminizată, pe când plantele recoltate în perioada înfloririi au o concentrație de 20.2 % proteină brută, 3.5% grăsimi brute, 24.8 % celuloză brută, 37.1 % substanțe extractive neazotate, 14.0 % cenușă, 0.60 unități nutritive/kg, 9.6MJ/kg energie metabolizantă, 211 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă fapt ce permite valorificarea la obținerea furajului murat.

Tabelul 1. Compoziția biochimică și valoarea nutritivă a masei proaspete de *Silphium* perfoliatum în dependență de perioada recoltării.

Indici	*Silphium perfoliatum*	
	demararea înfloririi	**înflorirea deplină**
Proteină brută (CP), g/kg	166	117
Fibră brută (CF), g/kg	317	335
Fibra detergent acidă (ADF), g/kg	352	376
Fibră detergent neutru (NDF), g/kg	554	615
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	46	60
Total zaharuri solubile (TSS), g/kg	56	38
Cenușă brută (CA), g/kg	89	84
Substanță uscată digestibilă (DDM),%	615	596
Energie digestibilă (DE), MJ/kg	12.15	11.80
Energie metabolizantă (ME), MJ/kg	9.97	9.69
Energie netă lactaţie (NEl), MJ/kg	5.98	5.71
Valoarea nutritivă relativă a furajului (RFV)	103	94

Rakhmetov și col. [4] menționează că plantele de silfie recoltate în perioada înflorii au un conținut de 211.4-290.2 g/kg substanțe uscate cu o concentrație de 3.54-12.17 % total zaharuri solubile, 29.46-48.24 % celuloză brută, 77.12-296.35 mg% acid ascorbic, 0.23-1.54 mg% carotenă, 14.18-26.08 % proteină brută, 2.34-4.26 % grăsimi brute, 3.25-7.82 % cenușă, 0.78-2.18 % potasiu, 1.66-3.07 % calciu și 0.13-0.35 % fosfor. Coşman și col. [20] remarcă că furajul de silfie conține103.3-165 g/kg substanțe uscate cu o concentrație de 9.56-12.25% cenușă, 8.25-13.35 % proteină brută, 1.86-2.73% grăsimi brute, 20.32-34.13 % celuloză brută, 42.15-52.32 % substanțe extractive neazotate. În cercetăriile noastre anterioare Țîței și col. [21] au stabilit că la finele înflorii plantele de silfie au un conținut de 66 g/kg proteină brută, 46 g/kg cenușă, 604 g/kg fibră detergent neutru, 411 g/kg fibra detergent acidă, 83 g/kg lignină sulfurică, 328 g/kg celuloză, 193 g/kg hemiceluloză, 569 g/kg substanță digestibilă, valoare relativă nutritivă RFV = 92, 11.32 MJ/kg energie digestibilă, 9.2 MJ/kg energie metabolizantă și 5.31 MJ/kg energie netă lactaţie. Капсамун și col. [22] menționează că conținutul de proteină brută în plantele de silfie descrește de la 25.7% în perioada demarării formării infloriscenței până 15.3% proteină brută în perioada de înflorire. Шелюто și col. [23] raportează că în perioada formării inflorescenței furajul recoltat are o concentrație de 14.8-15.3 % proteină brută, 2.11- 2.31% grăsimi brute, 19.6-19.9 % celuloză brută, 5.41-7.46 % zaharuri solubile, 14.2-13.6 % cenușă, 17.1 MJ/kg energie brută, 10.0MJ/kg energie metabolizantă și 131.8 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă, pe când furajul recoltat la demararea înfloririi are un conținut de 12.9-13.1 % proteină brută, 2.14- 2.42% grăsimi brute, 20.9-21.8 % celuloză brută, 3.97-5.77 % zaharuri solubile, 11.9-13.9 % cenușă,16.84 MJ/kg energie brută, 9.7MJ/kg energie metabolizantă și 120.5

g proteină digestibilă la unitatea nutritivă. Ruf &Emmerling [24] au stabilit că biomasa de *Silphium perfoliatum* conține 291-307 g/kg substanțe uscate, 5.9-9.8% hemiceluloză, 20.2-29.6% celuloză și 12.3-12.8% lignină. Van Loo (2022) raportează că plantele de silfie au un conținut de 336.4 g/kg substanțe uscate, 4.99% proteină brută, 30.52% celuloză brută, 2.34-4.26% amidon, 15.84% zaharuri solubile, 10.01% cenușă, 1.76% calciu și 0.21% fosfor. Ashworth și col. [25] au stabilit că compoziția biochimică a plantelor de silfie se modifică în dependență de perioada recoltării, furajul recoltat la mijlocul lunii iunie se evidențiază printr-un conținut 6.68% proteină brută, 44.87% fibra detergent acidă, 39.35% fibră detergent neutru în amilază și 5.52% hemiceluloză, iar furajul recoltat la mijlocul lunii septembrie de .9.06% proteină brută, 36.08% fibră detergent neutru, 33.47% fibra detergent acidă și 2.60% hemiceluloză. Baumgart și col. [26]) au stabilit că în dependență de momentul cosirii conținutul de substanțe uscate variază de la 193 la 316 g/kg cu o concentrație de 3.71-5.75% proteină brută, 1.60-2.42% grăsimi brute, 31.85-42.08% celuloză brută, 39.58-51.12% fibra detergent acidă și 46.23-52.19% fibră detergent neutru. Jin și col. [27] reportează că plantele de silfie recoltate au un conținut de 314.3 g/kg substanțe uscate cu o concentrație de 82.26% materie organică, 22.97% proteină brută, 61.50% fibră detergent neutru, 26.18% fibra detergent acidă, 9.43% lignină sulfurică, 4.68% carbohidrați solubili, 15.24 MJ/kg energie brută, 8.72 MJ/kg energie metabolizantă , 5.33 MJ/kg energie netă lactație. Prigge și col. [28] au studiat compoziția chimică a furajului din plante din familia *Asteraceae* și a stabilit că furajul de *Silphium perfoliatum* conține 13.5% proteină brută, 22.1% fibră detergent neutru, 21.7% fibra detergent acidă, iar de *Echinacea purpurea* – 12.6% proteină brută, 32.6% fibră detergent neutru, 27.8% fibra detergent acidă.

CONCLUZII

Soiul local ‘Vital’ de *Silphium perfoliatum* recoltat la demararea înfloririi se evidențiază printr-o concentrație înaltă de proteină brută și diminuată de carbohidrați structurali, masa proaspătă poate fi valorificată ca furaj în rațiile pentru animale de fermă, iar plantele recoltate la înflorirea deplină- pentru producerea furajului murat.

REFERINȚE:

1. REVENCO, E., ŢÎŢEI, V. Silfia, *Silphium perfoliatum L.*. In: *Înierbarea terenurilor agricole ca metodă de conservare a apei și protejare a solului: Ghid practic pentru producătorii agricoli.* Chișinău: S. n., 2021, p.45-46. ISBN 978-9975-87-760-2
2. АБРАМОВ, А.А. Интродукция новых кормовых растений в Китай. In*: Інтродукція Рослин*, 2001, no. 3-4, p. 24-30. https://doi.org/10.5281/zenodo.3333845
3. BOE, A., ALBRECHT, K., JOHNSON, P., OWENS, V., CARTER, C., MATHEES, D., MALMO, T., KAHLER, A. Genetics, breeding, agronomy, and

pest management of cup plant (*Silphium perfoliatum*) a potential new biomass crop for the North Central USA. 2012.. *http://ncsungrant1. sdstate.org/upload/Boe-Sun-Grant-Ann-Mt-Indianapolis-2012.pdf* (Accesat la 15.05.2025).

4. RAKHMETOV, D.B., VERGUN, O.M., STADNICHUK, N.O., SHYMANSKA, O.V., RAKHMETOVA, S.O., FISHCHENKO, V.V. Biochemical study of plant raw material of *Silphium* L. spp. in M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. In: *Plant Introduction*. 2019. no.3, p.80-86.
5. VAN LOO, T. 2022. *A prospection of the properties of cup-plant (Silphium perfoliatum) as a fodder crop.* Cluster Agro-environment. 2022, 34 p.
6. COȘMAN, S.; DANILOV, A.; PETCU, I.; **ȚÎȚEI, V.;** COȘMAN, V.; BAHCIVANJI, M. *Diversificarea bazei furajere prin studierea unor furaje noi și mai puțin cunoscute in Republica Moldova.* Maximovca: Print-Caro, 2023. 340 p. ISBN 978-9975-180-12-2.
7. ЕМЕЛИН, В. А. Приемы технологии возделывания сильфии пронзеннолистной на кормовые цели в условиях Витебской области. – Витебск: ВГАВМ, 2017. – 56 с.
8. GAZOULIS, I.; PYLIOU, K.; KOKKINI, M.; DANASKOS, M.; KANATAS, P.; TRAVLOS, I. Cup plant (*Silphium perfoliatum*): agronomy, uses, and potential role for land restoration. In: *Land*. 2025, no.14, 1307. *https://doi.org/10.3390/land14061307(*Accesat la 15.05.2025)
9. HÖLLER, M.G. *Phenotypic analysis of different Silphium perfoliatum L. accessions and evaluation as a renewable resource for material use.* Doctoral dissertation, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn., 2022. *https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/10441* (Accesat la 15.05.2025).
10. PENI, D., STOLARSKI, M.J., BORDIEAN, A., KRZYŻANIAK, M., DĘBOWSKI, M. *Silphium perfoliatum*—a herbaceous crop with increased interest in recent years for multi-purpose use. In: *Agriculture*. 2020. no. 10(12), p.640. *https://doi.org/10.3390/agriculture10120640*
11. MOLL, L., HÖLLER , M., HUBERT, C., KORTE, C., VÖLKERING, G., WEVER, C., PUDE, R. Cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) biomass as substitute for expanded polystyrene in bonded leveling compounds. In: *Agronomy*. 2022, no.12(1), p. 178. *https://doi.org/10.3390/agronomy12010178* (Accesat la 15.05.2025).
12. MUELLER A., BIERTÜMPFEL A., FRIEDRITZ L., POWER E., WRIGHT, G., DAUBER J. (2019). Floral resources provided by the new energy crop, *Silphium perfoliatum* L. (Asteraceae). In: *Journal of Apicultural Research*. 2019. no.59, p.1-14. 10.1080/00218839.2019.1668140. (Accesat la 15.05.2025).
13. ENDE L.M.; LAUERER M. Spreading of the cup plant (*Silphium perfoliatum*) in northern Bavaria (Germany) from bioenergy crops. In: *NeoBiota*, 2022, no.79, p.87–105.
14. ȚÎȚEI V. The mobilization of energy crop resources in Moldova. In. *Romanian*

Agricultural Research. 2023. no.40, p.646-654. *https://www.incda-fundulea.ro/rar/nr40/rar40.3.pdf*

15. XU, J., JIA, W., ZHANG, G., LIU, L., WANG, L., WU, D., TAO, J., YUE, H., ZHANG, D., ZHAO, X. Extract of *Silphium perfoliatum* L. improve lipid accumulation in NAFLD mice by regulating AMPK/FXR signaling pathway. In: *Journal of Ethnopharmacology*. 2024. no. 327(2), p.118054. *10.1016/j.jep.2024.118054* (Accesat la 15.05.2025).
16. ALBRECHT, K.A., GOLDSTEIN, W. *Silphium perfoliatum* L.: a North American prairie plant with potential as a forage crop. In*:Proc. XVIII International Grassland Congress*, June 8-19, 1997 (ID NO. 1113). Winnipeg, Manitoba, and Saskatoon, Saskatchewan Canada, 1997, p. 167-168.
17. HAN, K.J., ALBRECHT, K., MUCK, R.E., KIM, D.A. Moisture effect on fermentation characteristics of cup-plant silage. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000. no. 13(5),p.636-640.
18. ŢÎŢEI V. Biological peculiarities of cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) and utilization possibilities in the Republic of Moldova. In: *Lucrări Ştiinţifice, seria Agronomie.* 2014, no. 57 (1), p.289-293.
19. ЧУПИНА, М.П., СТЕПАНОВ, А.Ф. Использование сильфии пронзеннолистной в системе зеленого и сырьевых конвейеров. In: *Вестник Омского Государственного Аграрного Университета*. 2017, no.4 (28), p.92-97.
20. COŞMAN, S., ŢÎŢEI, V., BAHCIVANJI, M., COŞMAN, V., IURCU, I. 2020. *Cultivarea şi utilizarea în zootehnie a unor plante furajere noi, netradiţionale pentru Republica Moldova.* Chişinău. Print-Caro. 76 p.
21. ŢÎŢEI, V., CÎRLIG, N., GUŢU, A. Some biological peculiarities and economic value of the cultivation of cup plant, *Silphium perfoliatum* L. In: *Studia Universitatis Moldaviae.* Seria *Ştiinţe reale şi ale naturii*. 2020, no.6(136), p.79-82.
22. КАПСАМУН, А.Д., ИВАНОВА, Н.Н., ПАВЛЮЧИК, Е.Н. Урожайность и кормовая ценность сильфии пронзеннолистной на мелиорированных землях Нечерноземной зоны. In: *Аграрная наука*. 2021, no. 344(5), p. 44-46. *https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-349-5-44-46*
23. ШЕЛЮТО, Б.В., МЫСЛЫВА, Т.Н., СИЛИВОНЧИК, М.Н., РАШКЕВИЧ, А.Л., ЛУЗАНОВ, М.А. Динамика пищевой и кормовой ценности сильфии пронзеннолистной (*Silphium perfoliatum*) по фазам развития. In: *Земледелие и селекция растений Беларуси*, 2021. no.57, p.209-216.
24. RUF, T., EMMERLING, C. Biomass partitioning and nutrient fluxes in *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping systems. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2022, no.124(3), p.389-405.
25. ASHWORTH, A.J., KATUWAL, S., MOORE, Jr. P.A., ADAMS, T., ANDERSON, K., OWENS, P.R. Perenniality drives multifunctional forage–biomass

filter strips' ability to improve water quality. In. *Crop Science*.2023, no. 63(1), p.336-348.

26. BAUMGART, M., HÜLSEMANN, B., SAILER, G., OECHSNER, H., MÜLLER, J. Effects of harvest date and ensiling additives on the optimized ensiling of *Silphium perfoliatum* to prevent faulty fermentation. In: *Agriculture*, 2024, 14, 1363. *https://doi.org/10.3390/agriculture14081363* (Accesat la 15.05.2025)
27. JIN, Y., WANG, P., LI, F., YU, M., DU, J., ZHAO, T., YI, Q., TANG, H., YUAN, B. 2024. The effects of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri* on the fermentation quality, in vitro digestibility, and aerobic stability of *Silphium perfoliatum* L. silage. In: *Animals*. no.14, p. 2279. *https://doi.org/10.3390/ani14152279 (*Accesat la 15.05.2025*).*
28. PRIGGE J.L., BISANGWA E., RICHWINE J.D., SWILLING K.J., KEYSER P.D. Blooming and forage characteristics of twelve native forbs subjected to repeated defoliation. In: *Agronomy*. 2024, no. 14,p. 28. *https://doi.org/10.3390/agronomy14010028* (Accesat la 15.05.2025).

N.B. *Suport în realizarea cercetărilor subprogram 01.01.02 „ Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară".*

INDICII DE CALITATE A MASEI PROASPETE RECOLTATE DE SPARCETĂ DE NISIP *ONOBRYCHIS ARENARIA* ȘI TRIFOI ROZ *TRIFOLIUM HIBRIDUM*

THE QUALITY INDICES OF THE HARVESTED GREEN MASS FROM SAND SAINFOIN *ONOBRYCHIS ARENARIA* AND ALSIKE CLOVER *TRIFOLIUM HIBRIDUM*

CZU: 581.19:633.31/.37 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.21**

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Alexei ABABII
ORCID: 0009-0002-2250-1060
E-mail: ababiialexei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Marcela DRAGOȘ
ORCID: 0009-0005-5528-9272
E-mail: marcela.dragos@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Mihai GADIBADI
ORCID: 0000-0002-7038-5669
E-mail: mm.gadibadi@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Veaceaslav DOROFTEI
ORCID: 0009-0008-2117-9018
E-mail: biocom04@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andreea ANDREOIU
ORCID: 0009-0001-3709-275X
E-mail: andreea.andreoiu@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Paul ZEVEDEI
ORCID: 0009-0004-3465-7120
E-mail: paul.zevedei@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Teodor MARUȘCA
ORCID: 0000-0001-7452-3814
E-mail: maruscat@yahoo.com
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Summary: *We studied the quality indices of the harvested green mass from local ecotype of species Onobrychis arenaria and Trifolium hibridum grow in the experimental plot of the National Botanical Garden (Institute) "Alexandru Ciubotaru" MSU, Chisinau, R. Moldova. It has been determined that the dry matter of harvested plant from studied species were was characterized by 16.54-16.96% crude protein, 3.17-3.18% crude fats, 22.44-28.72% crude cellulose, 43.74-49.29% nitrogen free extract, 5.54-7.37% sugars, 1.53-1.59 starch, 7.41-8.56 % ash, 0.73-1.14% calcium, 0.25-0.26% phosphorus and energy nutritive value - 8.96-9.96 MJ/kg metabolizable energy and 5.04-5.76 MJ/kg net energy for lactation, this fact indicates a optimal quality of forage for ruminants.*

Keywords: *biochemical composition, green mass, local ecotype, nutritive value, Onobrychis arenaria, Trifolium hibridum*

INTRODUCERE

Familia *Fabaceae* Lindley (sin. *Leguminosae* Juss., *Papilionaceae* Giseke) cuprinde plante erbacee sau lemnoase, anuale, bienale sau perene, subarbuşti, arbuşti sau arbori. Plantele din această familie se evidențiază prin asimilarea și depozitarea azotului în procesul de simbioză cu diferite specii de bacterii, fapt ce contribuie la reducerea utilizării îngrășămintelor chimice cu azot și diminuării emisiilor de gaze cu efect de seră; stopării proceselor de erodare a solului și îmbunătățirii structurii lui. Unele din aceste plante joacă un rol important în asigurarea de alimente și furaje cu conținut ridicat de proteine și aminoacizi esențiali, precum și materie primă pentru diferite industrii. În Flora Basarabiei familia *Fabaceae* cuprinde 146 specii din 35 de genuri, inclusiv genul *Trifolium* L. este reprezentat prin 20 specii și genul *Onobrychis* Mill. este reprezentat prin 3 specii [1].

Trifoiul roz sau trifoiul hibrid *Trifolium hibridum* L. este o planta perenă înaltă de 50-80 cm, cu tulpină verde sau roşiatică, erectă sau ascendentă, ramificată, flexuoasă, neradicantă la noduri, glabră sau în partea de sus păroasă. Stipele sunt coriacee, concrescute cu peţiolul, ovate până la ovat-lanceolate, la vârf subulate. Frunze sunt gla-

bre sau glabrescente, cele bazale lung-peţiolate, cele tulpinile mai scurte. Foliole foarte scurt-peţiolate, obovate, obcordate sau, mai rar rombice, glabre sau abaxial pe nervurile principale păroase, de 1-3 cm lungime şi 1-2 cm lăţime; vârful foliolelor rotund, retezat sau cu emarginaţie. Pedunculii ating 4-7 cm lungime, mai lungi decât frunza bracteantă. Capitule dispuse pe ramificaţiile tulpinii, globuloase, de 1,5-2,5 cm în diametru, compuse din 20-30 flori. Pedicele subţiri, păroase, cele ale frunzelor superioare de 4-5 cm lungime (mai lungi decât bracteolele), după înflorire curbate în jos. Flori sunt de 5-10 mm lungime. Tubul caliciului atinge 1,0-1,5 mm lungime cu 5 nervuri evidente şi cu 5 neevidente; dinţii inegali, îngust-lanceolaţi sau subulaţi, separaţi prin sinusuri largi, de 2-3 mm lungime. Corolă albă, alb-roză, roză până la roşiatică, după înflorire devine brună. Păstaie este eliptică, glabră, cu 3-5 seminţe galbene-verzui. Masa a 1000 seminţe este de 0.63-0.79 g. Rădăcina principală este pivotantă cu ramificaţii numeroase, formează simbioză cu *Rhizobium leguminosarum* cv. *trifolii* [1].

Sparceta de nisip sau sparceta arenicolă *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC cunoscută în literatura de specialitate și ca *Onobrychis tanaitica* Spreng., *Onobrychis sibirica* (Besser) P.W.Ball, este o plantă perenă, cu tulpini erecte, albicioase, cu 7–8 internoduri, cu pubescenţă slabă sau glabre, înalte de 40–90 cm și diametrul la bază de 3–5 mm. Frunzele sunt pinate cu 6–15 perechi de foliole eliptice sau liniar-lanceolate, de 10–30 mm lungime, 2–5 mm lăţime, culoarea verde intens sau verde-cenușiu. Stipele sunt libere, brune, cu marginile ciliate. Florile sunt dispuse în racem spiciform sau fusiform de 5–9 см, puţin strâns la vârf, bracteea de 2.5–3.2 mm, peducelul păros de 2 mm, caliciul de 4.3–5.1 mm, corola roz aprinsă sau roz roșiatică de 8–10 mm, stindar egal, uneori mai scurt decât carena, în aripile ating 1.9–2.6 mm. Înfloreşte în mai-iunie, polenizarea alogamă, fructifică în iulie, potenţial melifer de 90–140 kg/ha miere. Fructul – păstaie mai lungă decât caliciul, rareori egală cu el, semicirculară, cu o nervaţie bine pronunţată sub formă de plasă de-a lungul discului și lungul createi, cu dinţi scurţi, de culoare maro sau verde-cenușiu, monospermă, indehiscentă. Masa a 1000 fructe este de 15– 20 g. Seminţele sunt reniforme, de culoare brun-verzui sau galben-cenușiu, ușor strălucitoare. Masa a 1000 seminţe este de 9–11 g. Rădăcina este pivotantă cu pătrundere adâncă în sol de până la 10 m, dezvoltă și rizomi oblici sau verticali, rădăcinile adventive se formează mai intens în sol la adâncimea de 50–100 cm. Rădăcinile au un număr mare de nodozităţi cu *Rhizobium simplex*, foarte rezistentă la temperaturi mari şi la secetă prelungită, capacitatea de fixare a azotului atmosferic 200–300 kg/ha anual. Secreţiile radiculare au o puternică capacitate de dizolvare a carbonaţilor și fosfaţilor. Având sistemul radicular bine dezvoltat și mai profund, sparceta de nisip este mai puţin pretenţioasă faţă de apă decât sparceta comună și lucerna, manifestă o toleranţă mai înaltă la secetă şi săruri, poate valorifică în mod special terenurile nisipoase, calcăroase, erodate, supuse eroziunii unde alte specii de leguminoase se dezvoltă mai dificil [2].

Speciile de legumenoase *Trifolium hibridum* și *Onobrychis arenaria* sunt cercetate și implemtate în cultură pentru obținerea diferitor tipuri de furaje în mai multe regiuni ale Terrei [3-14].

Scopul cercetării a constat în evaluarea indiciilor de calitate a masei proaspete recoltate de trifoi roz *Trifolium hibridum* și sparcetă de nisip *Onobrychis arenaria* ca furaj pentru animale de fermă.

MATERIALE ȘI METODE

Ca obiect de studiu a servit plantele ecotipul local de sparcetă de nisip *Onobrychis arenaria* și a ecotipul local de trifoi roz *Trifolium hibridum* cultivat în cultură pură pe terenul experimental al Grădinii Botanice Naționale, Chișinău latitudine 46°58′25.7″ și longitudine N28°52′57.8″E, lucerna albastră *Medicago sativa* a servit ca martor. Mostrele de plante pentru investigații au fost prelevate la prima coasă în anul 2 de vegetație la demararea înfloririi. Mostrele de masa proaspătă-plante întregi au fost mărunțite la tocatorul staționat pentru furaje, supuse deshidratării în etuvă cu ventilație forțată la temperatura de 60°C. La finele fixării materialul biologic a fost măcinat fin la moara de laborator. Analizele de laborator efectuate au inclus determinarea următorilor indici: conținutul de substanță uscată, proteina brută, grăsimea brută, celuloza brută, cenușa brută, amidon, zaharul, substanțe extractive neazotate, calciu, fosfor, carotenă. A fost evaluată asigurarea cu energie brută, metabolizantă și netă lactație a furajului, conform procedeelor acreditate.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Am putea menționa că la momentul recoltării, demararea înfloririi, plantele de sparcetă de nisip *Onobrychis arenaria* atingea înălțimea de 95-100cm, plantele de trifoi roz *Trifolium hibridum* de 62-65 cm și lucerna albastră *Medicago sativa* de 82-93 cm. Conținutul de substanțe uscate în masa proaspătă recoltată constituie 166.1 g/kg la sparcetă de nisip, 179.3 g/kg la trifoi roz și 241.9 g/kg la lucerna. Rezultatele privitor la compoziția biochimică a substanțelor uscate și valoarea nutritivă a furajului din speciile investigate sunt prezentate în Tabelul 1. Am putea menționa că conținutul de proteină brută în substanța uscată este optimală și nu diferă esențial între speciile investigate. S-a stabilit că plantele de *Onobrychis arenaria* și *Trifolium hibridum* se evidențiază printr-un conținut ridicat de grăsimi brute, zahăr, fosfor și redus de cenușă, amidon, calciu în substanța uscată comparativ cu plantele de *Medicago sativa.* Furajul de *Trifolium hibridum* are un conținut mai diminuat de celuloză brută și mai înalt de substanțe extractive neazotate față de furajul de *Onobrychis arenaria* și *Medicago sativa.* Asigurarea cu carotenă a furajului din speciile investigate diferă esențial, o concentrație foarte diminuată se atestă în furajul de *Trifolium hibridum,* pe când în furajul de *Onobrychis arenaria* are valori similare furajul de *Medicago sativa.* Încărcătura cu energie metabolizantă fiind de 8.93-9.96 MJ/kg și cu energie netă lactație de 5.04-5.76 MJ/kg. Furajul de *Trifolium hibridum* se evidențiază printr-o digestibilitate mai ridicată, fapt ce s-a răsfrânt pozitiv la asigurarea cu energie metabolizantă și energie netă lactație.

În literatura de specialitate sunt prezentate diferite rezultate privitor la conținutul de nutrienți în masa proaspătă de trifoi roz și de sparcetă de nisip. Грязева [3] a stabilit că

masa proaspătă de sparceta de nisip are un conținut 238.4-244.6 g/kg substanță uscată cu o concentrație de 18.57-19.31% proteină brută, 2.29-2.36% grăsimi, 29.18-29.41 % celuloză brută, 41.93-44.02% substanțe extractive neazotate, 5.95-6.90% cenușă, iar cea de lucernă 248.9-269.6 g/kg substanță uscată cu 18.62-20.66% proteină brută, 2.49-2.52% grăsimi, 31.18-32.60% celuloză brută, 37.20-39.17% substanțe extractive neazotate, 7.02-9.09% cenușă. Conform lui Панков [4], sparceta de nisip recoltată în perioada de înflorire are o concentrație de 18.4% proteină, 3.1% grăsimi, 27.8 % celuloză, 41.9% substanțe extractive neazotate, 8.8% cenușă, 11.7 g/kg calciu și 1.7 g/kg fosfor. Ates [5] a stabilit că substanță uscată din plantele de trifoi roz au un conținut de 18.97% proteină brută, 23.83-24.67 % celuloză brută, 1.92-2.13% calciu și 0.38-0.39 % fosfor. Lang& Vejražka [8] raportează că soiul 'Pooderský' de *Trifolium hybridum* are o productivitate de 9.19 t/ha substanță uscată cu un conținut de 218 g/kg proteină brută, 199.5 g/kg celuloză brută și 6.65 g/kg energie netă lactație. Телеуцэ & Цыцей [9] menționează că substanțele uscate din furajul natural de sparceta de nisip conțin 16.6% proteină brută, 1.0% grăsimi, 32.4% celuloză brută, 34.6% substanțe extractive neazotat, 5.2% cenușă, 9.6g/kg calciu, 1.5g/kg fosfor și 8.5MJ/kg energie metabolizabilă. Petrović [10] a stabilit că ecotipurile investigate de *Trifolium hibridum* au o concentrație în substanță uscată de 18.64 -20.47% proteină brută, 17.78-25.24% celuloză brută și 1.91 - 2.51% grăsimi. Волошин [11] raportează că furajul din soiurile investigate de sparceta de nisip din prima coasă conține 14.51-17.70% proteină brută, 2.47-2.72% grăsimi, 27.13-28.82% celuloză brută, 6.13-6.79% cenușă, 6.09- 6.44% zaharuri, 92.25-137.11 mg/% carotenă, 0.78-0.83 unități nutritive/kg, 9.81-10.12 MJ/kg energie metabolizabilă și 144 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă, iar la coasa doua respectiv 15.42-15.92% proteină brută, 2.45-2.60% grăsimi, 21.24-24.38% celuloză brută, 3.00-4.20% cenușă, 5.34-5.61% zaharuri, 142.90-152.43 mg/% carotenă, 0.92-1.01 unități nutritive/kg, 10.61-11.17 MJ/kg energie metabolizabilă. Писковацкая [12] a stabilit că în dependență de perioada recoltării plantelor de *Trifolium hibridum* concentrația de proteină brută în substanța uscată variază de la 223 g/kg la 169 g/kg, iar concentrația de celuloză brută de la 139 g/kg la 275 g/kg. Коберницкая [13] raportează că sparceta de nisip au un conținut de 18.82-20.00% proteină brută, 2.10-2.56% grăsimi, 16.36-21.32% celuloză brută, 6.09- 6.44% zaharuri și 10.17-10.77 MJ/kg energie metabolizabilă.

Tabelul 1. Compoziția biochimică și valoarea nutritive a furajului din speciile investigate

Indicii		***Onobrychis arenaria***	***Trifolium hibridum***	***Medicago sativa***
Substanța uscată în masa recoltată, g/kg		166,1	179,3	241,9
Proteină brută, %	în substanța absolut uscată	16,96	16,54	16,35
	în masa proaspătă	2,82	2,97	3,95

Proteină digestibilă în masa recoltată, g/kg		21,45	22,54	30,84
Grăsime brută, %	în substanța absolut uscată	3,18	3,17	2,20
	în masa proaspătă	0,53	0,57	0,53
Celuloză brută, %	în substanța absolut uscată	28,72	22,44	27,97
	în masa proaspătă	4,77	4,02	6,76
Cenușă brută, %	în substanța absolut uscată	7,41	8,56	10,10
	în masa proaspătă	1,23	1,54	2,44
Substanțe extractive neazotate, %	în substanța absolut uscată	43,74	49,29	43,38
	în masa proaspătă	7,27	8,84	10,49
Carotenă, mg/kg		45,45	11,72	47,15
Calciu, %	în substanța absolut uscată	0,73	1,14	1,73
Fosfor, %	în substanța absolut uscată	0,25	0,26	0,17
Zahăr, %	în substanța absolut uscată	7,32	5,54	4,80
Amidon, %	în substanța absolut uscată	1,59	1,53	2,32
Energie brută, MJ/kg	în substanța absolut uscată	18,59	18,43	17,99
	în masa proaspătă	2,76	3,30	4,35
Energie metabolizantă, MJ/kg	în substanța absolut uscată	8,96	9,96	8,93
	în masa proaspătă	1,49	1,79	2,16
Energie netă lactație, MJ/kg	în substanța absolut uscată	5,04	5,76	5,08

Belashova [14] menționează că trifoiul roz *Trifolium hibridum* are o concentrație în substața uscată de 216.4 g/kg proteină brută și 6.99 g/kg fosfor. Матолинец& Волошин [15] menționează că furajul proaspăt de *Onobrychis arenaria* în dependență de perioada recoltării conține 239.6g/kg substanță uscată, iar componența chimică a acestora fiind 15.42-17.70 % proteină, 2.46-2.47 % grăsimi, 21.82-28.8229.3 % celuloză, 6.31-6.34 % zăharuri, 3.46-6.36% cenușă, 0.78-1.04 unități nutritive/kg, 9.81-11.07 MJ/kg energie metabolizabilă. Демидась [16] raportează că plantele de *Onobrychis arenaria* nefertilizate au în substața uscată o concentrație 20.5% protein brută, 4.16% grăsimi, 21.7% celuloză brută, 8.05% cenușă, 13.2g/kg calciu și 6.2g/kg fosfor; iar plantele fertilizate respectiv 20.6% protein brută, 4.10-4.22% grăsimi, 21.5-21.9% celuloză brută, 8.12-8.15% cenușă, 13.3g/kg calciu și 6.4-6.5g/kg fosfor. Матолинец [17] menționează că furajul din soirile cercetate de *Onobrychis arenaria* recoltat în anul doi de vegetație are o concentrație în substanță uscată de 12.32-17.26 % proteină brută, 1.60-2.88% grăsimi, 21.51-27.40% celuloză brută, 5.28-10.13% zăharuri, 5.80-7.28% cenușă și o valoare de 10.07-11.13MJ/kg energie metabolizantă și 0.82-1.00 unități nutritive/kg substanță uscată.

CONCLUZII

Ecotipurile locale investigate de trifoi roz *Trifolium hibridum* și sparcetă de nisip Onobrychis arenaria prezintă interes ca material inițial în ameliorare de noi soiuri pentru diversificarea asortimentului de culturi agricole cu potențial furajer.

REFERINȚE:

1. IZVERSCAIA, T. 2020. Familia *Fabaceae*. In: *Flora Basarabiei*. Chişinău: Universul, 2020, Vol. 3, p. 388-592. ISBN 978-9975-47-057-5
2. REVENCO, E., ŢÎŢEI, V. Sparceta de nisip, *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. In: *Înierbarea terenurilor agricole ca metodă de conservare a apei și protejare a solului: Ghid practic pentru producătorii agricoli.* Chişinău: S. n., 2021, p.40-41. ISBN 978-9975-87-760-2
3. ГРЯЗЕВА, Т.В. *Селекция люцерны и эспарцета в условиях Ростовской области* / Дис. ... канд. с.-х. наук. Зерноград, 2005, 203 с.
4. ПАНКОВ, Д.М., 2009. Возделывание эспарцета песчаного (*Onobryhis arenaria* (D.C.) на корм в лесостепи Алтайского края. In: *Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета*, 2009, nr.9 (59), p. 9-12. ISSN 1996-4277
5. ATES, E. Some chemical and morphological properties of five clover species (*Trifolium* sp.) at different aspect of pasture in Belovets village (Razgrad) Bulgaria. In: *International Journal of Plant Production*, 2011, no. 5(3), p. 255-262. ISSN 1735-6814
6. ДЗЮБЕНКО, Н.И., АБДУШАЕВА Я.М. Адаптация американских экотипов *Onobrychis arenaria* (Kit.) Ser. в условиях Новгородской области. In: *Сельскохозяйственная Биология*, 2012, nr. 4, p. 106-112. doi: 10.15389/agrobiology.2012.4.106rus
7. ГОЛОБОРОДЬКО, С.П., ГАЛЬЧЕНКО, Н.Н. Эспарцет песчаный в южной степи Украины. In: *Кормопроизводство*, 2012, nr.10, p. 32–33. ISSN 1562-0417.
8. LANG, J., VEJRAŽKA, K. Yields and quality of forage legumes under imbalanced year precipitation conditions on south Moravia. In: *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2012, no. 6, p. 217–224. ISSN 1211-8516
9. ТЕЛЕУЦЭ, А.; ЦЫЦЕЙ, В. Нетрадиционные растения семейство бобовых - кормовые достойнство и продуктивность в условиях Республики Молдова. In: *Таврійський Науковий Вісник*, 2012, nr. 80 (2) , p.338-342. ISSN 2226-0099
10. PETROVIĆ, M., LUGIĆ, Z., DAJIĆ-STEVANOVIĆ, Z., ANĐELKOVIĆ, B., MARKOVIĆ, J., ZORNIĆ, V. Variability of alsike clover (*Trifolium hybridum* L.) natural populations from Serbia. In: *Quantitative Traits Breeding for Mul-*

tifunctional Grasslands and Turf. Springer, Dordrecht., 2014, p. 61-66. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9044-4_7

11. ВОЛОШИН, В.А. Предварительные итоги изучения эспарцета песчаного в Пермском крае. In: *Сибирский Вестник Сельскохозяйственной Науки*, 2015, nr.1, p.49-55. ISSN 0370-8799
12. ПИСКОВАЦКАЯ Р.Г., МАКАЕВА А.М., РЕКАШУС Э.С. Тетраплоидный селекционный материал в создании нового сорта клевера гибридного. In: *Адаптивное Кормопроизводство,* 2020, nr. 4 , p.21-29. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-21-29 ISSN 2222-5366
13. КОБЕРНИЦКАЯ, Т., ПАРСАЕВ, Е., ФИЛИППОВА, Н. (2023). Оценка продуктивности сортообразцов эспарцета песчаного при возделывании в условиях Акмолинской области. In: *Izdenister Natigeler*, 2023, nr. (4 (100), p. 150–159. https://doi.org/10.37884/4-2023/17. ISSN 2304-3334
14. BELASHOVA O.V., KOZLOVA O.V., VELICHKOVICH N.S., FOKINA A.D., YUSTRATOV V.P., PETROV A.N. A phytochemical study of the clover growing in Kuzbass. *Foods and Raw Materials*. 2024, nr.12(1):194–206. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-599 ISSN (ISSN-L) 2308-4057.
15. МАТОЛИНЕЦ, Н.Н., ВОЛОШИН В. А. Целесообразность интродукции эспарцета песчаного (*Onobrýchis arenária*) – новой многолетней бобовой культуры. *Аграрный вестник Урала,* 2016, nr.07 (149), p. 28-33. ISSN 1997 - 4868
16. ДЕМИДАСЬ, Г. И., ЛИХОШЕРСТ, Э.С., БУРКО, Л.М. Вміст органічних і мінеральних речовин у кормі різних видів еспарцету залежно від удобрення [Content of organic and mineral substances in feed from different types of sainfoin depending on fertilizing]. In: *Вісник Уманського Національного Університету Садівництва*, 2019, nr.1: 54-58. ISSN 2310-046X
17. МАТОЛИНЕЦ, Н.Н. *Приемы возделывания эспарцета песчаного на кормовые цели в среднем предуралье /* Дис. ... канд. с.-х. наук Пермь, 2020. http://ssaa.ru/science/dissovet3/2020/Matolinez_NN/disser.pdf

N.B. *Suport în realizarea cercetărilor subprogram 01.01.02 „ Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară”.*

INDICII DE CALITATE A MASEI PROASPETE DE *MEDICAGO SATIVA* L.

THE QUALITY INDICES OF THE FRESH MASS OF *MEDICAGO SATIVA* L.

CZU: 581.19:633.31 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.22**

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ana GUȚU
ORCID: 0000-0001-8965-2416
E-mail: ag9152633@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vasile Adrian BLAJ
ORCID: 0000-0003-2143-566
E-mail: blajadi@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Mihai GADIBADI
ORCID: 0000-0002-7038-5669
E-mail: mm.gadibadi@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andreea ANDREOIU
ORCID: 0009-0001-3709-275X
E-mail: andreea.ciopata@yahoo.com
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Monica TOD
ORCID: 0009-0004-3465-7120
E-mail: monica.tod@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Adrian-Ilie NAZARE
ORCID: 0009-0002-5865-2928
E-mail: adrian.nazare@iuls.ro
Universitatea de Științe ale Vieții "Ion Ionescu de la Brad" din Iași, România

Paul ZEVEDEI
ORCID: 0009-0004-3465-7120
E-mail: paul.zevedei@pajisti-grassland.ro
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Teodor MARUȘCA
ORCID: 0000-0001-7452-3814
E-mail: maruscat@yahoo.com
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Summary. *We studied the quality indices of the harvested fresh mass from local ecotype of species Medicago sativa grow in the experimental plot of the National Botanical Garden (Institute) "Alexandru Ciubotaru" MSU, Chisinau, R. Moldova.. In the first and second growing season the local ecotype of Medicago sativa was characterized by optimal growth and development rate, the dry matter of harvested contained 200-207 g/kg CP, 99-115g/kg ash, 304-341 g/kg ADF,490-514 g/kg NDF, 49-65g/kg ADL with nutritive value 623-652 g/kg DDM, 10.09-10.52MJ/kg ME, 6.73-7.08 MJ/kg NEl and RFV=113-114.. The biochemical methane production potential of Medicago sativa substrates 316-343 L/kg VS. 200.*

Keywords: *biochemical composition, biochemical methane potential, green mass, local ecotype, Medicago sativa, nutritive value*

INTRODUCERE

Familia *Fabaceae* Lindley (sin. *Leguminosae* Juss., *Papilionaceae* Giseke) este a treia familie de angiosperme după numărul de specii de și cuprinde plante erbacee, lemnoase, anuale, bienale sau perene, subarbuști, arbuști sau arbori. Este o familie de plante extrem de diversificată și cuprinde multe culturi agricole importante din punct de vedere economic, asigurând aproximativ o treime din proteinele pentru consumul uman și animal, sursă de hrană pentru diferite specii de animale, insecte, precum și o gamă largă de materii prime pentru diverse industrii [2]. Plantele din familia *Fabaceae* sunt capabile să îmbunătățească fertilitatea solului prin fixarea azotului atmosferic prin intermediul bacteriilor simbiotice (*Rhizobium*) și au un rol important în ciclul global al azotului și contribuie la reducerea utilizării fertilizanților chimici cu azot și diminuării emisiilor de gaze cu efect de seră, la îmbunătățirea însușirilor fizice și chimice, restabilirea structurii solului.

Genul *Medicago* L. cuprinde 60-87 specii anuale și perene, răspândite în zonele temperate și subtropicale ale Eurasiei și Africii, preponderent în regiunea mediteranea-

nă şi Asia de Sud-Vest[1,2]. În Flora Basarabiei familia *Fabaceae* este reprezentată de 146 specii din 35 de genuri, inclusiv genul *Medicago* L. cuprinde 6 specii: *Medicago lupulina* L.*, Medicago sativa* L. , *Medicago rigidula* (L.) All., *Medicago minima* (L.) Bartalini, *Medicago falcata* L., *Medicago romanica* Prod. [1]. Lucerna comună sau albastră, *Medicago sativa* este una dintre cele mai vechi, răspândite și cultivate plante furajere de pe glob. Este o specie perenă, cu tulpini erecte sau ascendente, ușor muchiate, lignificate la bază, înalte de 40-120 cm de culoare verde-deschisă. Formează tufe cu 40-60 lăstari. Frunze sunt trifoliate de culoare verde sau verde întunecate sunt dispuse altern, stipele triangulare, ovat- lanceolate, dințate, lung acuninate, de 5-15 mm lungime, pubescente pe partea inferioară, glabroase pe partea superioară, peţiolul pubescent de 5-30 mm lungime. Foliolele sunt dispers păroase, rotunjite până la retezate la vârf, ovate cuneate sau lanceolate, zimţate în treimea lor superioară, mucronate, foliola din mijloc peţiolată. Inflorescenţa reprezintă un racem alungit, scurt, dens sau lax cu 10-35 flori. Corola florii este constituită din 5 sepale verzi, floarea este de culoare albastră-violacee pe un peduncul de 1-5 cm lungime. Înflorește la finele lunii mai-iunie, polenizarea este alogamă, fructifică în lunile iulie-august. Păstaia este glabră, răsucită, cu 2-4 spire, 3-10 mm in diametru, indehiscentă, cu 2-6 seminţe drepte sau ușor curbate, uneori triunghiulare sau colţuroase, cu tegumentul galben sau galben-bruniu, cu luciu slab, care se pierde prin învechire, iar culoarea devine brună-roșcată fără luciu. Seminţele sunt lungi de 1,6-2,6 mm, late de 1,0-1,2 mm și groase de 0,5-1,2 mm. Masa 1000 seminţe – 1,2-2,7 g. Sistemul radicular pivotant este puternic dezvoltat, de la rădăcina principală pornesc rădăcini de ordinul întâi, de la ele – de ordinul doi și de ordinele următoare, cu o mulţime de perișori absorbanţi; iar în funcţie de condiţiile pedoclimaterice poate să se extindă la 5-10 m adâncime, însă masa principală de rădăcini se găsesc la adâncimea de 10-40 cm. Noi rădăcini și perișori absorbanţi se formează în fiecare primăvară la începutul regenerării vegetative, precum și după fiecare coasă. În partea superioară a rădăcinii principale se dezvoltă coletul cu mai mulţi muguri, care anual și după fiecare coasă generează lăstari noi. Pe rădăcini se observă nodozităţi Cele mai potrivite soluri pentru lucerna comună sunt solurile cenușii, brune, podzolurile înţelenite, nisipo-lutoase cu subsol fertil, dar și cele cernoziomice, cu valoare optimă de pH 6,2-7,8. Este o plantă de zi lungă. Seminţele încolţesc la temperatura de 1,5-2,5ºC, plantulele apar la suprafaţa solului când temperatura solului atinge 4 -6ºC, suportă îngheţurile târzii de primăvară de -5°C, dezvoltare optimală este la temperatura de 15-25ºC ziua și 10-20ºC în perioada de noapte. Iarna rezistă la temperaturi negative de -20-30ºC, iar vara suportă bine temperaturi de peste 35 ºC. Se menţine în cultură pură 4-5 ani, în amestecuri cu alte specii leguminoase și graminee – până la 10 ani [3]. În regiunea noastră, potențialul productiv ale soiurilor ameliorate atinge 68.1-73.3 t/ha furaj proaspăt sau 14.8-18.8 t/ha substanţă uscată [4]. *Medicago sativa* este cercetată și implementată în cultură în mai multe regiuni ale Terrei pentru obținerea diferitor tipuri de furaje pentru animale, materii prime pentru obținerea diferitor produse și energie renovabilă [5-18].

Scopul cercetării a constat în evaluarea indicilor de calitate a masei proaspete recoltate de lucerna comună *Medicago sativa* ca furaj pentru animale de fermă și substrat pentru producerea biometanului ca energie renovabilă și curată.

MATERIALE ȘI METODE

Ca obiect de studiu a servit plantele ecotipul local de lucerna comună *Medicago sativa* menținut în cultură pură pe terenul experimental al Grădinii Botanice Naționale, Chișinău latitudine 46°58′25.7″ și longitudine N28°52′57.8″E. Mostrele de plante pentru investigații au fost prelevate la prima coasă în anul unu și doi de vegetație la înflorire. Mostrele de masa proaspătă-plante întregi au fost mărunțite la tocatorul staționat pentru furaje, supuse deshidratării în etuvă cu ventilație forțată la temperatura de 60°C. La finele fixării materialul biologic a fost măcinat fin la moara de laborator. Analizele de laborator efectuate au inclus determinarea următorilor indici: proteina brută (CP), cenușa brută (CA), fibră detergent neutru (NDF), fibră detergent acidă (ADF), lignină sulfurică (ADL), total zaharuri solubile (TSS) aplicând metoda spectrofotometriei infraroșu apropiat cu utilizarea echipamentului tehnic PERTEN DA 7200 din cadrul Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști Brașov, România cu metode standardizate. Conținutul de celuloză (Cel), hemiceluloză (HC), substanță uscată digestibilă (DDM), valoarea relativă a furajului (RFV), energia digestibilă (DE), energie metabolizantă (ME), energie netă lactație (NEl) s-a estimat conform ecuațiilor acceptate. Conținutul de carbon în materia organică s-a calculat conform ecuației reportate de Badger și col.[19]. Potențialul biochimic de obținere a biometanului s-a estimat pe baza conținutului de proteină brută și a compușilor chimici a pereților celulari, lignină sulfurică și hemiceluloză, conform ecuațiilor reportate de Dandikas și col. [20].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Am putea menționa că apariția plantulelor de lucernă comună s-a observat după 10-14 zile de la semănat. La momentul recoltării, demararea înfloririi la mijlocul lunii iunie plantele de lucernă comună atingea înălțimea de 70-75cm. În anul doi reluarea vegetație s-a observat în primele zile a lunii aprilie, iar apariția butonilor florali și demararea înflorii în a doua decadă a lunii mai, plantule ecotipului local având de lucernă comună înălțimea de 103-109 cm. Rezultatele privitor la compoziția biochimică a substanțelor uscate și valoarea nutritivă a furajului de lucernă comună în anul întâi și 2 de vegetație sunt prezentate în Tabelul 1. Am putea menționa că conținutul de proteină brută în substanța uscată este optimală și variază de la 20 la 20.7%. Furajul din anul doi de vegetație se evidențiază printr-un conținut mai ridicat de proteină brută, zaharuri solubile și hemiceluloză și redus de fibre, lignină sulfurică și cenușă, fapt ce s-a răsfrânt pozitiv asupra valorii nutritive și asigurării cu energie metabolizantă și energie netă lactație.

Tabelul 1. Compoziția biochimică și valoarea nutritivă a masei proaspete de lucernă *Medicago sativa*

Indici	*Medicago sativa*	
	anul 1	**anul 2**
Proteină brută (CP), g/kg	200	207
Fibră brută (CF), g/kg	311	301
Fibră detergent acidă (ADF), g/kg	341	304
Fibră detergent neutru (NDF), g/kg	514	490
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	65	49
Total zaharuri solubile (TSS), g/kg	22	38
Celuloză (Cel), g/kg	276	245
Hemiceluloză (HC), g/kg	173	186
Cenușă brută (CA), g/kg	115	99
Substanță uscată digestibilă (DDM),%	62.3	65.2
Energie digestibilă (DE), MJ/kg	12.29	12.81
Energie metabolizantă (ME), MJ/kg	10.09	10.52
Energie netă lactaţie (NEl), MJ/kg	6.73	7.08
Valoarea nutritivă relativă a furajului (RFV)	113	124

În literatura de specialitate sunt prezentate diferite rezultate privitor la conținutul de nutrienți în masa proaspătă la speciile din genul *Medicago*. Han și col. [10] a stabilit că valoarea furajeră a biomasei recoltată de lucernă în perioada formării butonilor florali fiind de 5.73-6.52% cenușă, 28.05-30.43% fibra detergent acidă, 7.16-7.29% lignină sulfurică și 6.07-6.36% substanță digestibilă, pe când plantele recoltate la mijlocul perioadei de înflorire conțin 6.53-70.1% cenușă, 32.57-32.58% fibra detergent acidă, 7.95-8.10% lignină sulfurică și 58.8-5.92% substanță digestibilă. Грязева [21] menționează că masa proaspătă de lucernă conține 248.9-269.6 g/kg substanță uscată cu o concentrație de 18.62-20.66% proteină brută, 2.49- 2.52% grăsimi, 31.18-32.60% celuloză brută, 37.20-39.17% substanțe extractive neazotate, 7.02-9.09% cenușă. Schitea și col. [5] raportează că formele valoroase de lucernă se caracterizează printr-o concentrație în substanța uscată de 20.05-21.32% proteină brută, 25.25-27.24% fibra detergent acidă, 38.40-40.07% fibră detergent neutru, 72-74.6% materie organică digestibilă, 1467-1528Kcal/kg valoare energetică netă și 0.95-0.99 unități nutritive carne. Heiermann și col. [7] au stabilit că lucernă conține 219 g/kg substanță uscată cu o concentrație de 17.8% proteină brută, 23.8% celuloză brută, 11.2% cenușă, 2.8% zaharuri și 2.9% amidon. Lang& Vejražka [15] raportează că soiul 'Morava' de *Medicago sativa* are o productivitate de 11.96-16.71 t/ha substanță uscată cu o concentrație de 204.4 g/kg proteină brută, 228.90-297.50 g/kg celuloză brută și o încărcătură de 5.78-6.44 g/kg energie netă lactație. Телеуцэ & Цыцей [22] au stabilit că conținutul de nutienți și valoarea furajeră a plantelor de *Medicago sativa* fiind de 17.40% proteină brută, 0.8% grăsimi, 24.0% celuloză brută, 39.4% substanțe extractive neazotate, 7.8% cenușă, 15.9g/kg calciu, 1.9g/kg fosfor, 440mg/kg carotenă, 8.84MJ/kg energie metabolizabilă și 147.7g proteină digestibilă la unitatea nutritivă,

iar a plantelor de *Medicago tianschanica* respectiv 14.40% proteină brută, 1.0% grăsimi, 32.3% celuloză brută, 36.7% substanțe extractive neazotate, 7.4% cenușă, 15.2g/kg calciu, 1.6g/kg fosfor, 340mg/kg carotenă, 7.48MJ/kg energie metabolizabilă și 109.7g proteină digestibilă la unitatea nutritivă. Slepetiene și col. [8] menționează că lucerna are o concentrație în substanță uscată de 2.649% azot, 47.23% carbon, 17.8% proteină brută, 42.72% fibră detergent acidă și 48.12% fibră detergent neutru, 15.90% lignină, 26.82% celuloză, 5.40% hemiceluloză, 4.10% hidrați de carbon solubili și 9.50% cenușă. Teleuță& Ţîţei [16] raportează că furajul proaspăt recoltat în anul 1 de vegetație din speciile cercetate din genul *Medicago* se caracterizează printr-un conținut de 4.87-6.06% proteină brută, 0.47-1.00% grăsimi, 9.54-12.13% celuloză brută, 2.20-2.63% cenușă, 8.58-14.25% substanțe extractive neazotate, 2.33-3.02 MJ/kg energie metabolizabilă și 137.2-242.7 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă. Heuzé și col. [6] menționează că plantele de lucernă au un conținut de 199 g/kg substanța uscată cu o concentrație de 20.6% proteină brută, 26.7% fibră brută, 30.9% fibră detergent acidă și 39.3% fibră detergent neutru, 7.6% lignină, 2.9% grăsimi, 11.5% cenușă, 19.4 g/kg calciu și 2.5g/kg fosfor, 5.6% carbohidrați solubili, 68.5% materie organică digestibilă, 18.1 MJ/kg energie brută, 9.4 MJ/kg energie metabolizantă. Stavarache și col. [14] au stabilit că substanța uscată din plantele de lucernă recoltate în perioada de înflorire (10%) au un conținut de 14.5-18.1% proteină brută, 49.2-55.7% fibra detergent acidă și 60.0-65.7% fibră detergent neutru, iar la finele înfloririi lucernei 13.3-16.5% proteină brută, 50.1-57.5% fibra detergent acidă și 62.0-65.5% fibră detergent neutru. Teleuță & Ţîţie [23] menționează că substanțele uscate din furajul natural de *Medicago sativa* conțin 17.03% proteină brută, 2.30% grăsimi, 33.31% celuloză brută, 39.41% substanțe extractive neazotate, 8.01% cenușă, 16.43g/kg calciu, 4.39g/kg fosfor, 8.65MJ/kg energie metabolizabilă și 164.9 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă, iar furajul natural de *Medicago falcata* conțin 14.87% proteină brută, 1.78% grăsimi, 31.20% celuloză brută, 45.43% substanțe extractive neazotate, 6.72% cenușă, 12.08g/kg calciu, 1.00g/kg fosfor, 8.84MJ/kg energie metabolizabilă și 135.3 g proteină digestibilă la unitatea nutritivă. Горюнов [18] a stabilit că masa proaspătă a taxonilor de lucernă investigați au un conținut 267-313 g/kg substanță uscată cu o concentrație de nutrienți de 15.-19.8% proteină brută, 1.6-2.9% grăsimi, 33.1-36.5 % celuloză brută și 8.8-11.6% cenușă. Horvat și col. [9] raportează că taxonii cercetați de lucernă au un conținut în substanța uscată de 204-247 g/kg proteină brută, 11-20 g/kg grăsimi,279-357 g/kg celuloză brută, 402-472g/kg fibră detergent neutru, 330-416 g/kg fibra detergent acidă, 69-94 g/kg lignină sulfurică. Schitea și col. [24] menționează că soiurile de lucernă recoltate în perioada de îmbobocire au un conținut de nutrienți în substanța uscată și o valoare furajeră înaltă de 21.35-22.05 % proteină brută, 21.00-21.91% fibră brută, 20.04-20.59% fibra detergent acidă, 31.18-32.33% fibră detergent neutru, 89.94-90.07% materie organică cu un coeficient de digestibilitate de 70.5-72.0, 636-653g/kg materie organică digestibilă, 1214-1264 Kcal/kg energie netă lapte, 1178-1207 Kcal/kg energie netă carne, 0.86-0.89 unități nutritive lapte, 0.82-0.85 unități nutritive carne. Cerempei și col. [25] raportează că plantele de lucernă au un conținut

de 172g/kg proteină brută, 91 g/kg cenușă, 510 g/kg fibră detergent neutru, 347 g/kg fibra detergent acidă, 58 g/kg lignină sulfurică, 83 g/kg total zăharuri solubile, 289 g/kg celuloză, 163 g/kg hemiceluloză, 619g/kg substanță digestibilă, valoare relativă nutritivă RFV = 113, 12.50 MJ/kg energie digestibilă, 10.26 MJ/kg energie metabolizantă și 6.04 MJ/kg energie netă lactaţie. Popa și col. [4] a stabilit că furajul din prima coasă din soiurile investigate de lucernă crescute în partea de Sud a României au o concentrație în substanță uscată de 171.1-182.6 g/kg proteină brută, 358.5-400.4 g/kg fibră detergent neutru, 238.9-253.4 g/kg fibra detergent acidă, coeficient de digestibilitate 72-73, 651-664 g/kg materie organică digestibilă, 1135-1165 Kcal/kg energie lapte, 1085-1129 Kcal/kg energie carne, 0.79-0.80 unități nutritive lapte, 0.74-0.76 unități nutritive carne.

Rezultatele privind calitatea substraturilor de masă proaspătă de lucernă investigate și potențialul de biochimic de obținere a biometanului sunt redate în Tabelul 2. Este cunoscut faptul că pentru buna funcționare a stațiilor de biogaz, bacteriile metanogene au nevoie de un raport adecvat dintre carbon și azot pentru procesele lor metabolice, rapoartele mai mari de 30:1 s-au dovedit a fi nepotrivite pentru o digestie optimă, iar rapoartele mai mici de 10:1 s-au dovedit a fi inhibitoare, din cauza pH-ului scăzut, a tamponării slabe datorită concentrației mari de amoniac în substrat. Am putea menționa că concentrația de azot în substraturile investigate au nu au variat (32-33 g/kg), iar conținutul estimat de carbon a variat de la 492 g/kg la 501 g/kg, raportul C/N fiind de circa 15. După cum am menționat anterior substratul de lucernă din anul doi de vegetație are un conținut mai ridicat de hemiceluloză și proteină, și mai diminuat de lignină sulfurică. Potențialul biochimic de metan al substraturilor investigate fiind de 280-309 l/kg substanță uscată sau 316-343 l/kg materie organică. Substratul de lucernă recoltat în anul doi de vegetație prezintă un randament mai ridicat de biometan.

Tabelul 2. Potenţialul biochimic de obținere a biometanului din biomasa de *Medicago sativa*

Indici	**Medicago sativa**	
	anul 1	**anul 2**
Carbon, g/kg	491.67	500.56
Azot, g/kg	32.00	33.12
Raportul carbon: azot (C/N)	15.36	15.11
Proteină brută, g/kg	200.00	207.00
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	65.00	49.00
Cenușă brută (CA), g/kg	115.00	99.00
Hemiceluloză (HC), g/kg	173.00	186.00
Potențial biometan, l/kg MO	316.35	343.11
Potențial biometan, l/kg SU	280.00	309.14

Unele publicații științifice au documentat potențialul de obținere a biometanului în substraturile de lucernă. Lehtomäki [25] menționează că substratul de lucernă prezintă un

potențial de biometan de 320-410 l/kg materie organică. Heiermann și col. [7] au stabilit că producțiile de metan ale substraturilor de lucernă variază în dependență de momentul recoltării, astfel în substratul din prima coasă randamentul de metan atinge 464 l/kg materie organică, în substratul din coasă doua 275 l/kg materie organic, iar în substratul din a treia coasă fiind de 324 l/kg materie organică. Teleuță & Ţîţie [23]menționează că potențialul estimat de formare a metanului al materiei organice fermentabile din plantele de *Medicago sativa* este de 270 l/kg, iar din plantele de *Medicago falcata* 285 l/kg. Cerempei și col. [24] raportează că substratul din plantele de lucernă prezintă un potențial biochimic de obținere biometanului de 321 l/kg materie organică.

CONCLUZII

Ecotipul local de lucernă comună investigat recoltat în perioada înfloririi are un conținut în substanța uscată de 20.0-20.7% proteină brută și o încărcătură de 10.09-10.52 MJ/kg energie metabolizantă, 6.73-7.08 MJ/kg energie netă lactaţie, iar substraturile pentru stațiile de biogaz au un potențial biochimic de biometan de 316-343 l/kg materie organică.

Ecotipul local de lucernă comună investigat prezintă interes ca material inițial în ameliorare de noi soiuri pentru diversificarea asortimentului de culturi agricole cu potențial furajer și biomasă energetică.

REFERINȚE:

1. IZVERSCAIA, T. Familia *Fabaceae*. În: *Flora Basarabiei*. Chișinău: Universul, 2020, Vol. 3, p. 388-592. ISBN 978-9975-47-057-5
2. SMALL, E. *Alfalfa and relatives: Evolution and classification of Medicago*. CABI, 2011. 727 p.
3. REVENCO, E., ŢÎŢEI, V. Lucerna comună, *Medicago sativa* L.. În: *Înierbarea terenurilor agricole ca metodă de conservare a apei și protejare a solului: Ghid practic pentru producătorii agricoli.* Chișinău, 2021, p.38. ISBN 978-9975-87-760-2
4. POPA, M., SCHITEA, M., PETCU, E., PETRESCU, E., DOBRE, Ș., PETCU, V. (2024). Evaluation of new alfalfa genotypes for forage, quality and seed yield potential under different field trials. In: *Romanian Agricultural Research*. 2024 . no.41, p. 477-488. *10.59665/rar4146*.
5. SCHITEA, M., VARGA, P., MARTURA, T., PETCU, E., DIHORU, A., 2007. New Romanian cultivars of alfalfa developed at NARDI Fundulea. *Romanian Agricultural Research*, no.24, p.47-50.
6. HEUZÉ, V., TRAN, G., BOVAL, M., NOBLET, J., RENAUDEAU, D., LESSIRE, M., LEBAS, F. Alfalfa (*Medicago sativa*). În: *Feedipedia.* 2016. *https://www.feedipedia.org/node/275* (accesat la 22 Mai 2025).

7. HEIERMANN, M., PLOECHL, M., LINKE, B., SCHELLE, H., HERRMANN, C. Biogas crops-Part I: Specifications and suitability of field crops for anaerobic digestion. În: *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2009. *https://cigrjournal.org/index.php/Ejounral/article/view/1087/1193* accesat 20 mai 2025
8. SLEPETIENE, A., SLEPETYS, J., TILVIKIENE, V., AMALEVICIUTE, K., LIAUDANSKIENE, I., CESEVICIENE, J., KADZIULIENE, Z., DABKEVICIUS, Z. AND BULIAUSKAITE, R. 2016. Evaluation of chemical composition and biogas production from legumes and perennial grasses in anaerobic digestion using the Oxitop system. In: *Fresenius Environmental Bulletin*. 2016. no. 25, p.1342-1347. . ISSN 10184619
9. HORVAT, D., VILJEVAC VULETIC, M., ANDRIC, L., BALICEVIC R., KOVACEVIC BABIC, M., TUCAK M. Characterization of forage quality, phenolic profiles, and antioxidant activity in alfalfa (*Medicago sativa* L.). In: *Plants.* 2022, 11, 2735. https://doi.org/10.3390/ plants11202735
10. HAN, K.J., ALBRECHT, K., MERTENS, D.R., KIM, D.A. Comparison of in vitro digestion kinetics of cup-plant and alfalfa. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000. no. 13 (5), p.641-644.
11. EL-RAMADY, H., ABDALLA, N., KOVÁCS, S., DOMOKOS-SZABOLCSY, E., BAKONYI, N., FÁRI, M., GEILFUS, C-M. Sustainable biorefinery of alfalfa (*Medicago sativa* L.): a review. In: *Egyptian Journal of Botany.* 2020 . no.60(3), p.611-629.
12. PETCU, E., SCHITEA, M., DRĂGAN, L., BĂBEANU, N. (2019). Physiological response of several alfalfa genotypes to drought stress. In: *Romanian Agricultural Research*, 2019 . no. 36, p.107-118.
13. SCHITEA, M., VARGA, P., MARTURA, T., PETCU, E., DIHORU, A. New Romanian cultivars of alfalfa developed at NARDI Fundulea. In: *Romanian Agricultural Research*, 2007. no. 24, p. 47-50.
14. STAVARACHE, M., SAMUIL, C., POPOVICI, C. I., TARCĂU, D., VÂNTU, V. The productivity and quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in Romanian forest steppe. In: *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2015. no.43(1), p. 179-185.6.
15. LANG, J., VEJRAŽKA, K. Yields and quality of forage legumes under imbalanced year precipitation conditions on south Moravia. In: *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2012, no. 6, p. 217–224. ISSN 1211-8516
16. TELEUȚĂ, A., ŢÎŢEI, V. Productivitatea şi valoarea furajeră a unor specii din genul *Medicago* L în condiţiile Republicii Moldova. În: *Rolul agriculturii în acordarea serviciilor ecosistemice şi sociale*. Bălți: 2014. p. 450-455. ISBN 978-9975-50-139-2.
17. SĂLCEANU, C., PARASCHIVU, M., OLARU, A., ROȘCULETE, C.,

GOANȚĂ (SUNĂ), L. M. (2023). The performans of new romanian alfalafa (*Medicago sativa*) genotypes. In: *Annals of the University of Craiova - Agriculture Montanology Cadastre Series*. 2023 . no. 53, p. 265-271.

18. ГОРЮНОВ, К.Н. *Морфо-биологическая оценка люцерны для селекции на продуктивность зеленой массы и семян в условиях Ростовской области*/ Дис. ... канд. с.-х. наук. Зерноград, 2022, 147 с.
19. BADGER, C.M., BOGUE, M.J., STEWART, D.J. Biogaz production from crops and organic wastes. In: *New Zeland Journal of Science*. 1979. no.22, p.11 -20.
20. DANDIKAS, V., HEUWINKEL, H., LICHTI, F., DREWES, J. E., KOCH, K. Correlation between biogaz yield and chemical composition of grassland plant species. In: *Energy Fuels*. 2015, no. 29(11), p. 7221–722
21. ГРЯЗЕВА, Т.В. *Селекция люцерны и эспарцета в условиях Ростовской области* / Дис. ... канд. с.-х. наук. Зерноград, 2005, 203 с.
22. ТЕЛЕУЦЭ, А.; ЦЫЦЕЙ, В. Нетрадиционные растения семейство бобовых - кормовые достойнство и продуктивность в условиях Республики Молдова. In: *Таврійський Науковий Вісник*, 2012, nr. 80 (2) , p.338-342. ISSN 2226-0099
23. TELEUȚĂ, A., ȚÎȚEI, V. Economic value of some leguminous plant species of the collections from the Botanical Garden (Institute) of the Academy of Sciences of Moldova. In: *Journal of Plant Development*, 2016 no. 23, p. 27-35.
24. SCHITEA, M. Noi soiuri de lucernă create la I.N.C.D.A. Fundulea. In: *Acta Agricola Romanica*, 2022. Tom 4, An 4, Nr.4: 113-128.
25. CEREMPEI, V.; ȚIȚEI, V.; VLĂDUȚ, V.; MOICEANU, G. A Comparative study on the characteristics of seeds and phytomass of new high-potential fodder and energy crops. In: *Agriculture* 2023, no.13, p.1112. https://doi.org/10.3390/agriculture13061112 accesat 20 mai 2025
26. LEHTOMÄKI, A. *Biogas production from energy crops and crop residues* (No. 163); University of Jyväskylä: Jyväskylä, Finland, 2006; *Available online: https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/13152* (accesat 20 mai 2025).

N.B. *Suport în realizarea cercetărilor subprogram 01.01.02 „ Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară”.*

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ КУКУРУЗЫ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ

COMPREHENSIVE EVALUATION OF MAIZE VARIETIES FOR DROUGHT RESISTANCE

CZU: 633.15:632.112 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.23**

Елена БЫЛИЧ
ORCID: 0000-0002-2360-5518
E-mail: elena.bilici@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *This article presents the results of an evaluation of drought resistance in local maize varieties. The field experiments were conducted under natural conditions, with yield serving as the primary evaluation criterion. In laboratory conditions, drought resistance was assessed at early stages of ontogeny using a 20% solution of PEG 6000. The plant material included four mid-early and four mid-late local maize varieties from the collection of the Plant Genetic Resources Laboratory of the IGPPP, MSU. The climatic conditions of 2024 allowed for effective testing of drought resistance, as water deficit stress was particularly pronounced during the flowering and grain-filling stages. In field trials, the yield obtained without irrigation was used as the key indicator of drought resistance. A positive correlation (r = 0.5) was observed between drought resistance in mid-early varieties under both natural and controlled (laboratory) conditions.*

Keywords: *correlation, drought, local varieties, maize, resistance.*

ВВЕДЕНИЕ

Недостаток воды в почве наносит больший урон растениеводству, чем все остальные стрессовые факторы, вместе взятые. По оценкам ФАО, засуха привела к прямым потерям в размере 29 миллиардов долларов США сельскому хозяйству развивающихся стран с 2005 по 2015 год [1].

Существует множество методов оценки засухоустойчивости растений, среди которых можно выделить полевые, лабораторные, вегетационные. Прямая оценка засухоустойчивости в поле при всей ее объективности требует многолетних наблюдений. Однако засуха бывает не каждый год, изменяются также ее продолжительность и сроки наступления. Для ускорения селекционного процесса в последнее время все чаще прибегают к косвенной оценке засухоустойчивости с помощью лабораторных физиологических методов. Особый интерес представляют методы ранней диагностики на семенах и проростках, поскольку они позволяют проводить оценку круглый год и анализировать большое количество селекционного материала [2].

Поскольку засуха является полимерным признаком, фенотипирование признаков устойчивости к засухе требует много времени и ресурсов, требуя многолетних испытаний в нескольких местах для точного воспроизведения сопряженных признаков [3]. В условиях стресса, вызванного засухой, прямой отбор по урожайности часто неэффективен. Практика контролируемых засухой сред и исследование вторичных признаков оказалась эффективной для точного фенотипирования с целью улучшения характеристик, связанных с устойчивостью к засухе. Косвенный отбор по вторичным признакам с более высокой наследуемостью и генетической корреляцией становится более эффективным, чем прямой отбор. Признаки, связанные с ранней энергией прорастания, архитектурой корней, временем цветения, устьичной проводимостью, концентрацией АБК, осмотической регулировкой и сохранением зеленого цвета и т. д., являются потенциально подходящими вторичными признаками для анализа [4].

Целью исследований являлось тестирование двух групп (среднеранних и среднепоздних) сортов кукурузы по толерантности к засухе в полевых условиях, используя в качестве критерия компоненту продуктивности, а также лабораторным методом с использованием осмотика ПЭГ 6000.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материала для исследования служили четыре среднеранних местных сорта кукурузы (Moldovenesc galben CP145 Moldovenesc galben CP223, Local CP227 и Moldovenesc CP 229), четыре среднепоздних (Moldovenesc galben CP166, Semidentata CP 201, MDI01388 и Semidentata CP 224), входящие в состав коллекции лаборатории Генетических ресурсов растений ИГФЗР Молдавского государственного университета.

Для определения влияния осмотического стресса на прорастание семян использовали ПЭГ 6000 в концентрации 20% (предварительно определяли оптимальность концентрации). Критерием оценки служили параметры прорастания семян в растворе осмотика в сравнении с контролем (ОПП), а также показатель роста (ПР) или суммарная длина корней и проростков, после семи дней проращивания при оптимальной температуре. Проращивали по 20 семян в трехкратной повторности.

Полевая оценка сортов проводилась на экспериментальном участке в климатических условиях 2024 года. Высеянные в первой декаде мая образцы коллекции, выращивали без ирригации, использовали общепринятую для центральной зоны Молдовы агротехнику. Закладка опытов, учеты и наблюдения проводились согласно методике полевых опытов с кукурузой [5]. Характеристика метеорологических условий сезона вегетации представлена в таблице 1, согласно данным Государственной Гидрометеорологической Службы Республики Молдова [6].

Таблица 1. Температурный режим и количество выпавших осадков по месяцам

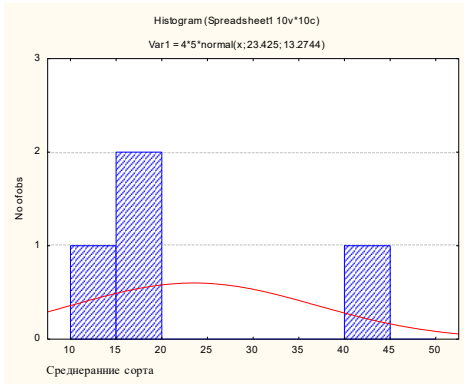
Метеоусловия периода вегетации	2024			
	май	**июнь**	**июль**	**август**
Сумма осадков, мм.	90	105	44	14
Средняя температура воздуха, ºС	16,4	22,8	26,0	25,2

Для обработки данных использовали компьютерные пакеты программ Microsoft Office и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИИ

Основным и самым эффективным способом, во избежание потерь урожая из-за засухи, является выращивание различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы. Тестирование различных по скороспелости групп сортов по толерантности к дефициту влаги дает возможность выделить устойчивые генотипы, как в составе группы, так и во всей коллекции сортов кукурузы.

Лабораторный метод оценки прорастания семян в растворе осмотика (ПЭГ-6000, 20%) применяли для двух групп сортов кукурузы (среднеранние и среднепоздние). Относительный показатель прорастания семян (ОПП %), при осмотическом стрессе среднеранней группы варьировал от 13,3% - Moldovenesc galben CP209 до 42,9% - Moldovenesc galben CP145 (Рис.1). Выявлен низкий уровень (≤ 20%) данного признака у сортов Moldovenesc galben CP223 и Local CP227 и, что свидетельствует об их неустойчивости к дефициту влаги.



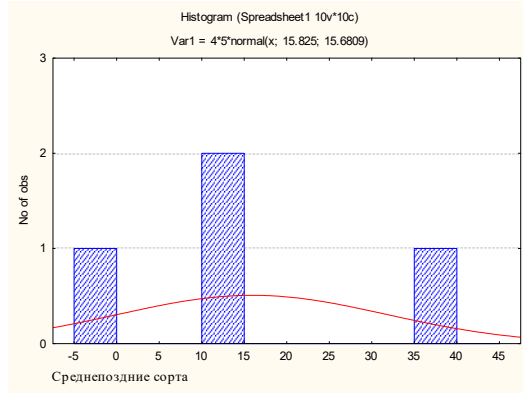
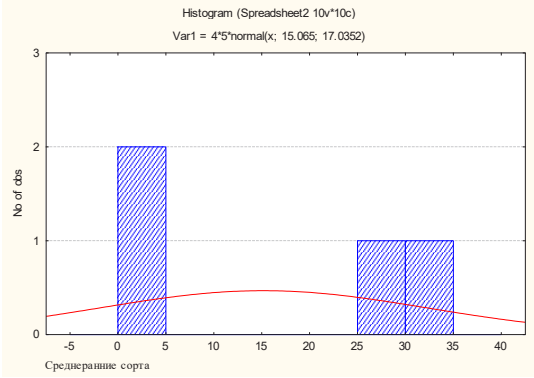


Рис.1, Рис.2 Дифференциация сортов кукурузы по прорастанию семян при осмотическом стрессе (опыт/контроль, %), в группе среднеранних (3) и среднепоздних сортов (4).

В группе среднепоздних, наиболее высоким уровнем прорастания семян в условиях стресса, характеризовался сорт MDI01388A. Варьирование ОПП по генотипам составляло от 0,2 % (Semidentata CP 224) до 36 % (MDI01388A). Депрессия

прорастания семян при осмотическом стрессе составляла в среднем 62,3% (Рис. 2). В меньшей степени был подвержен осмотическому стрессу сорт MDI01388A с 49,6% уровнем данного признака.

Сравнительный анализ изменчивости показателя роста (ПР) при воздействии осмотика выявил генотипические различия. Варьирование средних значений ПР в контроле по среднеранним генотипам составляло от 22 до 30 мм. Уровень признака в опытных вариантах существенно снижался до 0,6 - 9,4 мм или 0,02 - 32,3 % от контроля (Рис. 3). Достоверное превышение среднего значения ПР по этой группе сортов было отмечено для сортов Moldovenesc galben CP145 и Local CP227.



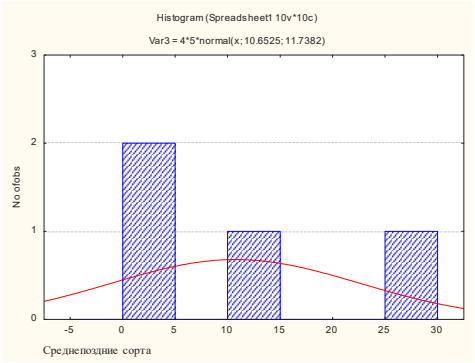
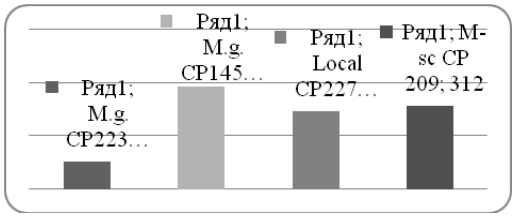


Рис. 3, Рис. 4 Дифференциация сортов по параметру роста при осмотическом стрессе (опыт/контроль, %) в группе среднеранних (3) и среднепоздних сортов (4).

У среднепоздних сортов снижение ПР варьировало в пределах 0,1 - 29,4 %, толерантность к стрессу по данному показателю проявили два сорта - MDI01388A и Semidentata CP201 (Рис. 4).

Полевая оценка образцов коллекции по засухоустойчивости была проведена в условиях, повышенного температурного режима и значительного дефицита влаги, отмечавшиеся в центральной зоне Молдовы в период июль-август 2024 года. Варьирование параметра *масса зерна с м²* делянки по среднеранним сортам составляло от 103 г - Moldovenesc galben CP 223 до 387 г - Moldovenesc galben CP145 (Рис.5). У более поздних сортов параметр варьировал в пределах 302-534 г, с превышением среднего уровня показателя у сорта Semidentata CP 224 (Рис.6).



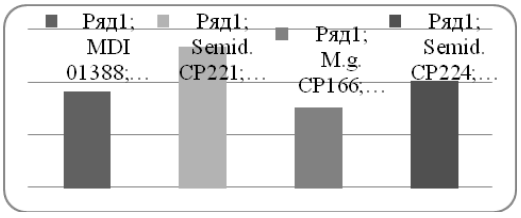
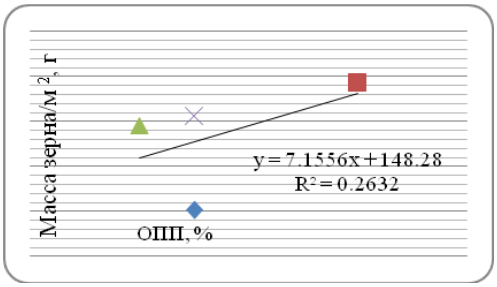


Рис.5, Рис.6 Урожай зерна кукурузы / м² в группе среднеранних и среднепоздних сортов (соответственно), г

Между урожайностью среднеранних сортов в поле и засухоустойчивостью в лабораторном эксперименте выявлена корреляционная зависимость, r = 0,51 (Рис.7).



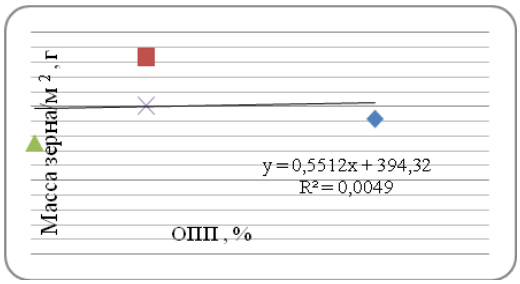


Рис. 7, Рис. 8 Корреляция урожайности с показателем устойчивости к имитированной засухе в группе среднеранних (7) и среднепоздних (8) сортов

Результаты, выявившие положительную корреляцию урожайности и уровня воздействия осмотического стресса в группе среднеранних сортов, не были столь однозначны для более поздних генотипов (Рис.8). У среднепоздних сортов эта взаимосвязь была менее значимой, r = 0,1 из-за воздействия такого фактора как повышенный уровень распространенности фузариоза початков и влияния его на урожайность.

ВЫВОДЫ

В результате лабораторной оценки местных молдавских сортов кукурузы по засухоустойчивости с применение ПЭГ 6000 на ранних этапах онтогенеза были выявлены генотипические различия. Была определена достоверная взаимосвязь с параметром урожайности (масса зерна /м²) для группы среднеранних сортов, в составе которой выделены сорта Moldovenesc galben CP145 и Local CP227 рекомендуемые для селекции в качестве источников устойчивости к засухе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены в рамках подпрограммы 011102 «Расширение и сохранение генетического разнообразия, улучшение генофонда сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата», финансируемой министерством образования и исследований Республики Молдова.

БИБЛИОГРАФИЯ:

1. FAOSTAT. Food and Agricultural commodities production. Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data (accessed on 30 June 2018).

2. УДОВЕНКО, В.Г. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / М., 1988. 227 с.
3. KHADKA, K., et al. Physio-Morphological Trait-Based Approach for Breeding Drought Tolerant Wheat. Front. Plant Sci. Sec. Plant Breeding, V11, 2020, https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00715
4. ZIYOMO, C., Bernardo, R. Drought Tolerance in Maize: Indirect Selection through Secondary Traits versus Genomewide Selection. Crop Science, V53, 2013, P 1269-1275, https://doi.org/10.2135/cropsci2012.11.0651
5. Методические рекомендации по проведению опытов с кукурузой. // Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1980, С. 36.
6. Serviciul Hidrometeorologic de Stat. Caracterizarea condiţiilor meteorologice şi agrometeorologice din anul 2024. Chişinău, 2024, http://www.meteo.md/.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОМАТОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ В РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

EFFICACY OF FERTILIZERS APPLIED BY FERTIGATION IN TECHNOLOGY OF GROWING TOMATO IN PROTECTED GROUND IN CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 631.8:635.64(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.24**

Владимр РОТАРУ
ORCID: 0000-0001-6554-682X
E-mail: rotaruvlad@yahoo.com
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The article presents the research results on the influence of fertilizers SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus, SmartGrow Humax applied by fertigation on productivity and some quality traits of tomato fruits cultivated under protected ground in the conditions of the Republic of Moldova. Fertilizers use has a positive effect on the biochemical composition of tomato fruits, increases the yield by 15,2% compared to variant without fertigation. Under the influence of combined application of tested fertilizers the quality of vegetable produce was improved, the content of soluble saccharides increased in fruits. Thus, the integrated use of SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus, SmartGrow Humax each in dose 2 L/ha could be an effective ecofriendly and perspective approach to increase tomato production in greenhouse conditions*.

Keywords*: fertigation, fertilizers, productivity, tomato*.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение томатов и их большой удельный вес в структуре валового сбора овощей во многих странах мира объясняется высокой экологической пластичностью, то есть способностью расти и плодоносить в разных климатических зонах, высокой урожайностью, многоцелевым использованием плодов. Быстрое увеличение валового производства томатов за последнее время тесно связано со значительным повышением урожайности этой культуры благодаря использованию удобрительных средств с одновременной модернизации основных технологических процессов при ее возделывании. В Молдове томат - основная овощная культура, который в структуре овощных культур занимает до 45%, а валовое производство составляет – 60-70%. Фактическая урожайность томатов в республике невысокая. Однако существует несколько сдерживающих факторов для получения высоких стабильных урожаев, среди которых: сильная поражаемость плодов вредителями и болезнями, отсутствие сортов с высокой скороспелостью,

трудоемкость возделывания, связанная со слабой механизацией работ, недостаточная обеспеченность минеральными удобрениями, в том числе комплексными. Сотрудниками Приднестровского НИИСХ [1] разрабатывается технология возделывания поздних томатов безрассадным способом, обеспечивающая получение 47 т/га товарных плодов для хранения и последующей реализации через 30-40 дней после уборки. Одним из основных резервов повышения урожайности и качества томата является совершенствование существующих технологий применения удобрений. Согласно исследовании один из наиболее эффективных приемов оптимизации минерального питания в защищенном грунте – это фертигация, внесение растворенных в воде удобрений в почву [2]. Фертигация - это способ применения удобрений посредством подачи растворенных минеральных веществ совместно с поливной водой. Она позволяет поддерживать в почве необходимый уровень концентрации элементов питания на почвах с низкой поглотительной способностью, бедных питательными веществами. Этот технологический прием позволяет снижать затраты труда и энергии на внесение удобрений в сравнении с традиционными методами. Необходимо отметить, что в климатические условия нашей страны, приоритетным направлением в обеспечении населения свежей овощной продукцией, особенно во внесезонный период, является развитие овощеводства защищённого грунта. Анализ литературных данных показал, что в Молдове недостаточно изучено влияние новых перспективных удобрений при фертигации, на урожайность томатов.

Цель наших исследований – изучить эффективность применения водорастворимых комплексных удобрений SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus, SmartGrow Humax при выращивании томата на фертигации в центральной зоне республики Молдова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поставленные задачи решали путем проведения опыта в защищеном грунте, а также лабораторными исследованиями. Выращивали сорт томатов Ольга. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный маломощный среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,0%. Схема опыта с применением удобрений включала следующие варианты: 1. Контроль (без фертигации), 2. Стандарт Leafdrip (3 кг/га 3 корневые подкормки), 3. SmartGrow Rootmost-C60 1 л/га (1-я подкормка)+SmartGrow Alhum Plus 1 л/га (2-я подкормка)+SmartGrow Humax 1 л/га (3-я подкормка), 4. SmartGrow Rootmost-C60 2 л/га (1-я подкормка)+SmartGrow Alhum Plus 2 л/га (2-я подкормка)+SmartGrow Humax 2 л/га (3-я подкормка). Удобрения вносили через капельный полив в качестве подкормок. Агротехника на опытных участках соответствовала принятой в центральной зоне Молдовы. Опыт был заложен в 3-х кратной повторности. Метод размещения вариантов по делянкам опыта был систематический. Площадь учетной делянки – 12м^2. Первую корневую

подкормку осуществляли в начале вегетации с применением SmartGrow Rootmost-C60 в дозе 1 л/га и 2 л/га, вторая фертигация с применением SmartGrow Alhum Plus в дозе 1 л/га и 2 л/га в период активного вегетации растений и третья фертигация с SmartGrow Humax в дозе 1 л/га и 2 л/га - в фазе формирования и роста фруктов томатов. Математическая обработка урожайных данных проводилась методом дисперсионного анализа [3]. Анализ содержания хлорофилла в листьях пшеницы выполнен спектрофотометрическим методом при длинах волн 645 и 663 нм [4]. Азот в плодах определяли по методу Къельдаля, фосфор – по классическому методу [5], калий определяли на пламенном фотометре. Содержание растворимых углеводов определяли по Bertran [6], нитратов – по методу Cataldo [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИ

Томат принадлежит к группе немногочисленных культурных растений, которые обладают высокой потенциальной продуктивностью, а для ее реализации необходимо создать оптимальное соотношение питательных элементов во все фазы роста и развития растений. Корневые подкормки позволяют более эффективно использовать элементы питания из почвы и повышают урожайность полевых культур. Растение томатов отзывается хорошо на внесение удобрительных средств, содержащих не только макроэлементы, но и микроэлементы, а также стимулирующие вещества. Такие комплексные удобрений сейчас импортируются в республику Молдова и требуется их исследования при выращивании овощных культур.

Таблица 1. Содержание хлорофилла в листе томатов под действием удобрений, мг/г

Варианты	Хлорофилл, *а*	Хлорофилл, *в*	Хлорофилл, *а+в*	Каротиноиды
Контроль (без фертигации)	0,92	0,36	1,28	1,57
Стандарт Leafdrip 3кг/га	1,04	0,38	1,42	1,83
SmartGrow Rootmost-C60 1л/га+SmartGrow Alhum Plus 1л/га+SmartGrow Humax 1л/га	1,05	0,50	1,55	1,89
SmartGrow Rootmost-C60 2л/га+SmartGrow Alhum Plus 2л/га+SmartGrow Humax 2л/га	1,13	0,43	1,56	1,84

Физиологические процессы, обусловливающие содержание хлорофилла в листьях и площадь ассимиляционной поверхности, могут по-разному реагировать на агротехнические факторы, особенно на внесение удобрений. В связи с этим представляется интересным проследить и сравнить изменение концентрации хло-

рофиллов (Хл) в листьях томата в зависимости от применения удобрений. Данные определения содержания хлорофилла в листьях томатов в зависимости от применения фертигации представлены в таблице 1. Результаты экспериментальных данных свидетельствуют о том, что использование SmartGrow Rootmost-C60 2 л/га+SmartGrow Alhum Plus 2 л/га+SmartGrow SmartGrow Humax 2 л/га повышает содержание хлорофилла ***а*** в листьях томатов на 22,8% по сравнению с контролем. Их положительное действие выявлено и на уровни накопления хлорофиллов ***а*** *и* ***в***. Установлено, что их сочетание привело к повышению их суммы *а+в* на 17%. Полученные результаты согласуются с установленным фактом об увеличение фотохимической активности хлоропластов в растениях, в результате использования удобрительных средств путем фертигации. Нормальное обеспечение растений водой и питанием является важным залогом получения высокой продуктивности растений. Доказательством того, что томаты хорошо реагируют при внесении комплексных удобрений путем фертигации, являются данные урожайности, представленные в таблице 2. Установлено, что использование фертигации с применение Rootmost-C60, Alhum Plus и Humax при выращивании томатов явилось мощным фактором роста и развития растений, и в конечным счетом урожайность растений. Результаты уборки урожая свидетельствуют о том, что благоприятный водный режим и хорошие условия питания существенно увеличили продуктивность плдов томатов.

Таблица 2. Влияние применения удобрений на урожайность томатов, т/га

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Прибавка, %
Контроль (без фертигации)	55,8		
Стандарт Leafdrip 3кг/га	62,6	6,8	12,2
SmartGrow Rootmost-C60 1л/га+SmartGrow Alhum Plus 1л/га+SmartGrow Humax 1л/га	61,1	5,3	9,3
SmartGrow Rootmost-C60 2л/га+SmartGrow Alhum Plus 2л/га+SmartGrow Humax 2л/га	64,3	8,5	15,2

НСР 095, т/га 1,90

Выявлено, что в контроле (без фертигации) средняя урожайность плодов составила 55,8 т/га. Максимальные показатели урожайности были зарегистрированы в варианте опыта с фертигации (четвёртый вариант) при их применении в повышенной норме 2,0 л/га – 64,3 т/га, что составляет 115,2% относительно контроля (табл. 2). Все варианты с удобрениями превышали контрольный вариант по урожайности

на 6,8-8,5 т/га. Например, при внесении стандартного удобрения Leafdrip в дозе 3 к/га (3 корневые подкормки) прибавка урожая равнялось 6,8 т/га, что составляет 12,2 % по сравнению с контролем. Таким образом, наиболее эффективным среди вариантов опыта оказался вариант с применением SmartGrow Rootmost-C60 2 л/га+SmartGrow Alhum Plus 2 л/га+SmartGrow Humax 2 л/га, обеспечивающий максимальную математически достоверную прибавку в 8,5 т/га, в данном варианте уровень урожайности составлял 115% по отношению к контролю. Использование более низкой нормы этих же видов удобрений, каждый в норме 1 л/га, также обеспечило хороший урожай плодов томатов, но прибавка в этом случае была значительно меньше 5,3 т/га, и она была ниже варианта стандарта. Величина урожая томатов на неудобренных делянках была наименьшая, однако, относительноя все же высокая, потому что растения были хорошо обеспечены водой в течение всего вегетационного периода и за счет внесения удобрений.

Таблица 3. Влияние применения удобрений на содержание элементов питания в плодах

Вариант	Сухое в-во, %.	N,%	P,%	K, %
Контроль (без фертигации)	6,9	2,42	0,65	2,73
Стандарт Leafdrip 3кг/га	7,0	2,82	0,62	2,79
SmartGrow Rootmost-C60 1л/га+SmartGrow Alhum Plus 1л/га+SmartGrow Humax 1л/га	8,2	2,70	0,72	2,85
SmartGrow Rootmost-C60 2л/га+SmartGrow Alhum Plus 2л/га+SmartGrow Humax 2л/га	7,5	2,72	0,65	2,95

Условия минерального питания оказали влияние и на некоторые химические показатели плодов томатов (табл. 3). Результаты исследования показали, что содержание питательных элементов в плодах увеличивалось в результате корневой подкормке с SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus и SmartGrow Humax. Удобрения оказали более значительное действие на содержание азота и калия в плодах, чем на содержание фосфора. Максимальное накопление азота отмечено в варианте с применением стандарта (три корневые подкормки) и в вариате SmartGrow Rootmost-C60 2л/га+SmartGrow Alhum Plus 2л/га+SmartGrow Humax 2 л/га. Фосфор имеет важное значение в синтезе многих важных компонентов клеток растений и обеспечивает энергетическими ресурсами множество биохимических процессов [8]. Установлено, что в варианте SmartGrow Rootmost-C60 1 л/га+SmartGrow Alhum Plus 1 л/га+SmartGrow Humax 1 л/га содержание фосфора в плодах составил 0,72% сухого вещества при 0,65% в контроле (табл. 3). Применеие фертигации положительно повдияло и на питание растений калием. Анализы показали, что применение фертигации с использованием Rootmost-

С60 2л/га+Alhum Plus 2 л/га+Humax 2 л/га способствовало накопления калия в плодах, превышая контрольный вариант на 7,3%. Наибольше количество сухих веществ (8,2%) содержали плоды выращенные при применении удобрений SmartGrow Rootmost-C60 1 л/га+SmartGrow Alhum Plus 1 л/га+SmartGrow Humax 1 л/га. Следовательно, определение содержание калия в плодах выявило, что его количество меньше зависит от доз и вида удобрения, чем содержание азота и фосфора, то есть его концентрация более стабильна, однако отмечалось слабое повышение содержания калия в плодах удобренных растений. В данном случае проявилась положительная роль данного удобрения как в увеличении содержания элементов питания, так и в формировании наибольшей продуктивности растений томатов, т.е. существует тесная зависимость между урожаем и количеством использованных растением питательных элементов [9]. Наряду с агрономической эффективностью применения SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus и SmartGrow Humax было определено их влияния и на некоторые основные качественные показатели плодов томатов. Результаты их испытания показали, что содержание сухого вещества в плодах имело тенденцию к повышению в вариантах с использованием удобрительных средств (табл. 4). Содержание сухого вещества в плодах томата колебалось в зависимости от варианта в пределах 6,9%–8,2%. В этом отношении выделялся вариант с применением SmartGrow Rootmost-C60 1 л/га+SmartGrow Alhum Plus 1л/га+SmartGrow Humax 1 л/га, где накопление сухих веществ увеличивалось на 18,8% сравнительно с контролем.

Таблица 4. Влияние применения удобрений на качество плодов томатов

Вариант	Влага %	Сухое в-во %	Сумма сахаров %	NO3, мг/кг сырой массы
Контроль (без фертигации)	93,1	6,9	4,52	28,9
Стандарт Leafdrip 3кг/га	93,0	7,0	4,72	26,5
SmartGrow Rootmost-C60 1л/га+SmartGrow Alhum Plus 1л/га+SmartGrow Humax 1л/га	91,8	8,2	4,83	28,3
SmartGrow Rootmost-C60 2л/га+SmartGrow Alhum Plus 2л/га+SmartGrow Humax 2л/га	92,5	7,5	4,54	27,8

На содержание других биохимических показателей, в частности содержание растворимых сахаров испытанные удобрения оказали положительное действие, увеличив этот качественный показатель в среднем на 6,6% относительно растений без фертигации. Количество растворимых сахаров на варианте без применения удобрений составляло 4,52%. Важным качественным показателем овощной

продукции является концентрация нитратов в плодах. Следует отметить, что количество нитратов в плодах не изменялось при внесении Leafdrip и SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus и SmartGrow Humax. На всех вариантах опыта содержание нитратов в плодах было в среднем в 6,5 раза ниже предельно допустимых концентраций. Следовательно, использование данных видов удобрений для корневой подкормки, показало положительную эффективность при выращивании томатов в условиях Центральной зоне республики Молдова.

ВЫВОДЫ

1. Совместное использование SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus, и SmartGrow Humax при фертигации в течение вегетации растений томата, каждый в дозе 2,0 л/га, обеспечивает повышение урожайности на 15,2%.

2. Внесение удобрений SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus и SmartGrow Humax способствует улучшению условия питания растений и увеличивает содержание элементов минерального питания в товарной продукции.

3. Применение SmartGrow Rootmost-C60, SmartGrow Alhum Plus и SmartGrow Humax методом фертигации повышало содержание сахаров в плодах. Содержание нитратов в томатах было значительно ниже предельно допустимых норм. Таким образом, для оптимизации процесса выращивания томатов на фертигации можно рекомендовать применение удобрений следующим образом - первую корневую подкормку применять в начале вегетации с SmartGrow Rootmost-C60 в дозе 2 л/га, вторая фертигация с SmartGrow Alhum Plus в дозе 2 л/га проводить в период активной вегетации растений и третья фертигация с SmartGrow Humax в дозае 2 л/га - в фазе формирования и роста плодов томата.

ЛИТЕРАТУРА:

1. КРЕЦУЛ, Н.Ф., ЗЕЛЕНИЧКИН, В.Г. *Особенности технологии возделывания поздних томатов.* În: Agricultura Moldovei. 2004, nr. 3, p. 27-28.
2. БОРИСОВ, В.А., МЕНЬШИХ, А.М., СОСНОВ, В.С. *Эффективность основного внесения удобрений и фертигации при выращивании баклажана на обыкновенных черноземах Ростовской области*. În: *Овощи России*. 2024, nr. 3, с. 53-58.
3. ДОСПЕХОВ, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. -351с.
4. LICHTENTHALER, H.K., WELLBURN, A.R. *Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents* In: Biochemistry Society Trans. 1983. Vol.11, nr.5. p.591-592.
5. MURPHY, J., RILEY, J.P. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*. In: Analytical Chemistry Acta. 1962, nr.27, p.31-36.

6. МИНЕЕВ, В.Г. Практикум по агрохимии. Издательство МГУ, 1989, 304с.
7. CATALDO, D.A. et al. *Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid*. In: Communication in Soil Science and Plant Analysis. 1975, nr. 6, p. 71-86.
8. SANTORO, V., SCHIAVON, M., CELI, L. *Role of soil abiotic processes on phosphorus availability and plant responses with a focus on strigolactones in tomato plants*. In. Plant and Soil. 2024, nr.494, p.1–49.
9. ЖУРБИЦКИЙ, З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. М.,-1963, с.293.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛОДОВ СЛИВЫ И ЯБЛОНИ ПО НЕКОТОРЫМ БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА И УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF PLUM AND APPLE FRUITS BY SOME BIOCHEMICAL INDICATORS, DEPENDING ON THE GENOTYPE AND GROWING CONDITIONS

CZU: 577.15:[634.11 + 634.22] **https://doi.org/10.59295/spd2025e.25**

Валентина СВЕТЛИЧЕНКО
ORCID: 0000-0002-7376-949X
E-mail: valentina.svetlicenco@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Анна ПОПОВИЧ
ORCID: 0009-0000-9543-0625
E-mail: ana.popovici@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The article presents the results of studies on biochemical characteristics that demonstrate the quality of plum and apple fruits. In fully ripe fruits, polyphenoloxidase activity and accumulation of phenolic substances were determined. The experiment was carried out in lysimeters on trees grown under different conditions (with irrigation and moisture deficit). The results of the study show that some plum and apple varieties demonstrated a higher level of polyphenoloxidase activity, which may be due to their adaptation to stress conditions, such as changes in temperature and humidity. It was determined that the accumulation of phenolic substances in fruits depended on both growing conditions and biological characteristics of varieties. The highest level of enzyme activity and content of the studied substances was observed in plum fruits. The results obtained during biochemical studies on plum and apple provide important information on the effect of growth conditions on their drought resistance and its relationship with fruit quality.*

Keywords**:** *apple tree, drought, enzyme polyphenol oxidase, plum, phenolic substances, temperature.*

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата отражается на экосистемах и системах сельскохозяйственного производства во всем мире. Среди последствий изменения климата — увеличение частоты засух в разгар вегетационного периода. Высокие температуры и недостаток влаги являются отрицательными факторами, ограничивающими ареал культур сливы и яблони, и вызывающими снижение урожая. Температур-

ные условия оказывают большое влияние на формирование плодовых почек, время созревания и качество плодов. Особенно чувствительны деревья к недостатку влаги в почве после окончания цветения, когда происходит формирование плодов и активный рост побегов. В засушливую погоду резко падает накопление запасных веществ в побегах и прекращается их рост [1].

Важными показателями функционального состояния плодовых растений являются антиоксидантные ферменты. Они способствуют качественному изменению обмена веществ в онтогенезе растений, обеспечивая их адаптацию к изменяющимся постоянным условиям внешней среды. К числу таких ферментов относится полифенолоксидаза, она не входит в состав антиоксидантной системы, но ее роль в ответных реакциях на неблагоприятные условия произрастания растений неоспорима. Многочисленные данные свидетельствуют [2, 3], что в стрессовых условиях активность этого фермента возрастает. Активность полифенолоксидазы играет важную роль в качестве плодов сливы, яблони и др., так как ее действие заключается в окислении различных полифенолов в присутствии кислорода воздуха [3].

Качество плодов определяется различными показателями, которые всесторонне характеризуют их свойства и потребительскую ценность [4]. Важнейший его показатель - биохимический состав и, в первую очередь, концентрация антиоксидантов, таких как фенольные соединения. Плоды сливы и яблони являются хорошим источником полифенолов [5, 6, 7, 8]. Фенольные вещества помогают нейтрализовать свободные радикалы в организме, что может снижать риск развития различных заболеваний, включая сердечно – сосудистые и некоторые виды рака [9]. Это делает плоды сливы и яблони не только вкусными, но и полезными для здоровья. Включение этих фруктов в рацион может способствовать укреплению иммунной системы и улучшению общего состояния организма [10, 11].

Целью нашего исследования было определение уровня активности полифенолоксидазы и содержания полифенольных соединений в плодах различных сортов сливы и яблони, выращенных как в условиях орошения, так и при недостатке влаги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыты, проводились в лизиметрах Института Генетики, Физиологии и Защиты Растений, Государственного Университета Молдовы, согласно установленной схеме эксперимента в период вегетации на деревьях поздних сортов сливы – Стенлей и Удлинённая, а также на зимних сортах яблони – Голден Спур и Гренни Смит (таб. 1).

Таблица 1. Схема эксперимента.

№	Варианты	Проведение корневой обработки в период вегетации
1.	Опытный вариант: растения выращенные в условиях водного дефицита (без орошения)	В начале периода вегетации (март), в грунт вокруг деревьев сливы и яблони были добавлены микроэлементы.
2.	Контрольный вариант: растения выращенные в условиях при наличии орошения	В начале периода вегетации (март), в грунт вокруг деревьев сливы и яблони были добавлены микроэлементы.

Изменение активности фермента полифенолоксидазы определяли по методу описанному Воскресенской О. Л. [12]; общее содержание фенольных веществ определяли по методу предложенному Singleton V. L. [13]. Математическую обработку полученных результатов проводили в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полифенолоксидаза участвует в окисление монофенолов и ортодифенолов, что может влиять на цвет, вкус и питательные свойства плодов [3]. Изменение ее активности может свидетельствовать о стрессе, вызванном под воздействием факторов окружающей среды [2]. Полагают, что увеличение экспрессии генов полифенолоксидазы при действии стрессовых факторов, напрямую связано с устойчивостью растений [14, 15].

Полученные результаты исследований показали, что уровень активности полифенолоксидазы в плодах сливы и яблони, значительно варьировал, в зависимости от биологических особенностей сортов и условий их выращивания. Таким образом, в момент сбора урожая уровень активности фермента в плодах сливы Стенлей, выращенных при орошении, оказался на 21,8 % ниже, чем у плодов с деревьев, растущих в условиях нехватки влаги. Аналогично у сорта сливы Удлиненная эта разница составила 31,03 %. У исследуемых плодов яблони между вариантами опыта, также наблюдалась разница в активности фермента, которая у сорта Голден Спур составила – 13,41%, а у сорта Грэнни Смит – 3,23%. Проведенные опыты позволили выявить, что наиболее высокая активность полифенолоксидазы была у плодов сливы сорта Стенлей - 0,275 ед. опт. пл. г/с, а самый низкий уровень активности фермента наблюдался у плодов яблони сорта Голден Спур – 0,0239 ед. опт. пл. г/с (рис. 1). Различия в активности фермента между сортами яблони и сливы могут указывать на их разные физиологические и биохимические реакции на условия выращивания и стрессовые факторы.

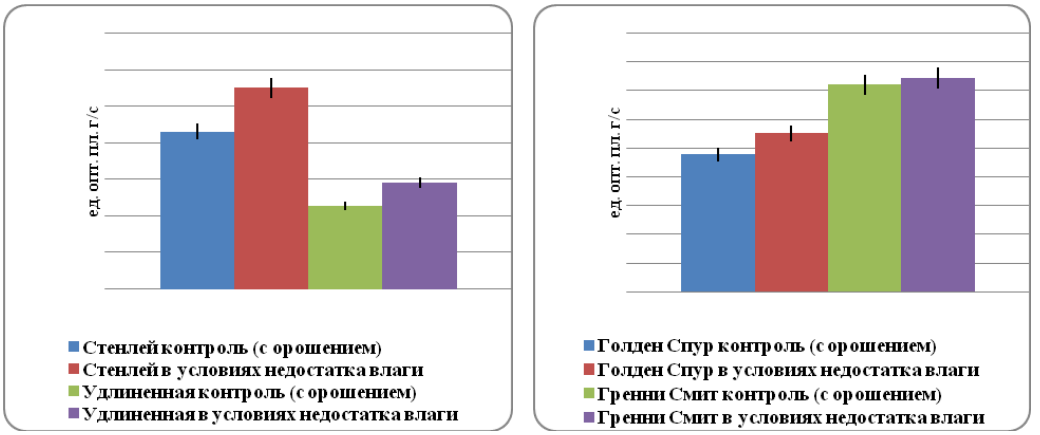


Рисунок 1. Изменение активности полифенолоксидазы в плодах сливы и яблони исследуемых сортов, в зависимости от условий выращивания.

Основная роль в иммунной системе плодов принадлежит фенольным веществам. Они подавляют рост и размножение многих патогенных микроорганизмов [15]. В системе устойчивости плодов фенольные вещества играют роль защитного барьера от различных заболеваний, препятствуя проникновению патогенных микроорганизмов вглубь их тканей [16]. Общее содержание фенольных соединений в яблоках разных сортов составляет 126 мг/100 г, в сливе - 170 мг/100 г. Уровень содержания этих веществ в плодах изменяется в широких пределах в зависимости от вида, сорта, условий сезона, местоположения на дереве, а также от поражения их болезнями [11].

Накопление фенольных соединений в плодах представляет собой сложный процесс, зависящий от различных факторов. Исследование этих факторов может способствовать оптимизации условий выращивания, что в свою очередь, повысит качество и питательную ценность фруктов. Анализ полученных результатов показал, что плоды деревьев, которые росли в условиях орошения, содержали наибольшее количество фенольных веществ.

Самая большая разница по содержанию изучаемых веществ между опытным и контрольным вариантом была выявлена у сорта сливы Стенлей - 14,08% и у сорта яблони Грэнни Смит –23,5%. У сорта сливы Удлиненная эта разница составила - 5,48%, у плодов яблони сорта Голден Спур - 17%. Согласно полученным данным, сорт сливы Удлиненная продемонстрировал самый высокий уровень содержания фенольных веществ – 292 мг/100г сырой массы. Сорт сливы Стенлей, также показал достаточно высокое содержание фенолов- 284, мг/100г, а сорта яблони Грэнни Смит и Голден Спур содержали меньше фенольных веществ - 200 мг/100г и –138 мг/100г (рис. 2).

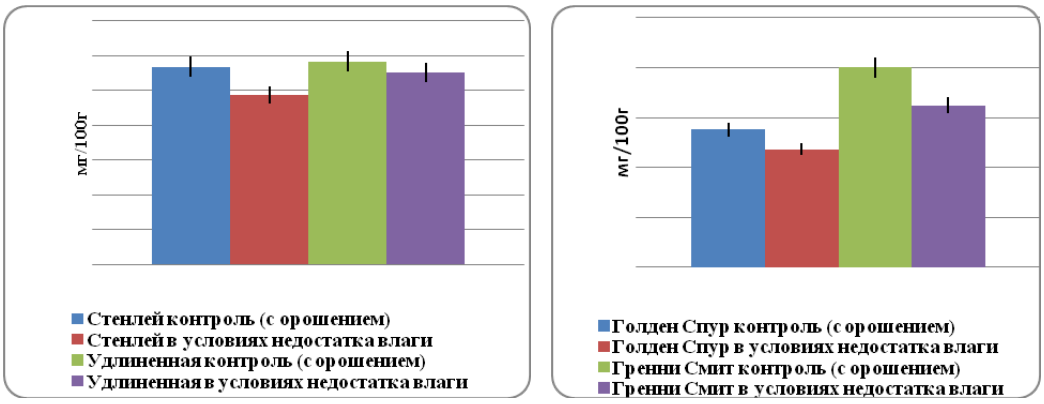


Рисунок 2. Содержание полифенольных веществ в плодах сливы и яблони.

Можно сказать, что абиотические факторы, такие как температура и влажность почвы, играют ключевую роль в развитии растений и качестве их плодов. Недостаток влаги вызывает стресс у растений, что приводит к изменениям в метаболизме и снижению содержания полезных веществ, таких как полифенолы, которые важны для вкуса, аромата и антиоксидантных свойств плодов. Высокая температура усиливает окислительные процессы и приводит к повышению уровня активности полифенолоксидазы, что негативно сказывается на качественных характеристиках плодов сливы и яблони.

ВЫВОДЫ

1. Определено, что активность полифенолоксидазы и уровень фенольных веществ в плодах сливы и яблони, зависят от различных факторов, включая условия выращивания, биологические характеристики сортов и метаболические процессы, происходящие в растениях в течение вегетационного периода. Эти факторы играют важную роль в формировании химического состава плодов и их питательных свойств.

2. Установлено, что в плодах сливы активность фермента полифенолоксидазы и содержание фенольных веществ были выше по сравнению с плодами яблони. Полученные данные свидетельствуют о более высоком уровне антиоксидантных качеств сливы, что в свою очередь может оказывать положительное влияние на ее питательные свойства и сохранность.

3. Эксперименты, проведенные на плодах сливы и яблони при росте в условиях дефицита влаги, позволили выявить специфические особенности сортов на примере биохимических показателей. Устойчивые сорта отличались более высоким качеством плодов. Полученные данные, углубляют понимание физиолого-биохимических механизмов, влияющих на качество фруктов выращенных в усло-

виях засухи. Это открывает перспективы для оптимизации их роста и улучшения вкусовых характеристик.

БИБЛИОГРАФИЯ:

1. *Физиолого-биохимические исследования плодовых пород*. Под ред. Пономарченко, Н.С. и др. Кишинэу: «Штиинца», 1989. 159 с. ISBN 5-376-00302-7.
2. КУЗНЕЦОВА, В.А., БЛИНОВА, А.А., ИВАЧЕНКО, Л.Е. Влияние гипо- и гипертермии на удельную активность ферментов класса оксидоредуктаз семян сои и множественность их форм В: *Достижения науки и техники АПК, «Земледелие и растениеводство»*. 2020, т. 34. № 7, с.39-44. ISSN 0235-2451.
3. МЕТЛИЦКИЙ, Л.В. *Биохимия плодов и овощей.* Москва: Экономика, 1970. 271 с.
4. ГУДКОВСКИЙ, В.А. и др. Совершенствование комплексной системы качества плодов - основа повышения эффективности садоводства. В: *Достижения науки и техники АПК.* 2010. №11, с. 28-31. ISSN 0235-2451.
5. ПРИЧКО, Т. Г. и др. Закономерности накопления витаминов и полифенолов в плодах и ягодах. В: *Плодоводство*. Самохваловичи, 2009, т. 21, с. 365–372.
6. POPOVICI, A., SVETLICENCO, V., GÎSCĂ, A. Activitatea polifenoloxidazei și a conținutului total de substanțe fenolice în fructele de prun în dependență de genotip, metodele de păstrare aplicate si varianta de tratare în perioada de vegetație. In: *Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective:* materiale conferinței științifică Națională cu participare Internațională, Ediția a VII-a, 23-24 mai. 2024, Bălți, Republica Moldova, 2024, pp. 78-83.
7. VLAIC, RA. et al. The Changes of Polyphenols, Flavonoids, Anthocyanins and Chlorophyll Content in Plum Peels during Growth Phases: from Fructification to Ripening. In: *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.*2018, vol. 46, nr. 1, pp. 148-155. ISSN (print): 0255-965X; (electronic): 1842-4309.
8. KAYA, E. Biochemical properties of polyphenol oxidase purifed from Sarali plum (Prunus domestica). In: *Journal of Food Measurement and Characterization.* (2024) 18:6473–6484 Available: https://doi.org/10.1007/s11694-024-02663-y [Accessed: 27.05.2025].
9. БОБРЫШЕВА, Т.Н. и др. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения. В: *Вопросы питания.* 2023, т. 92, №1, с. 92-107. ISSN (print): 0042-8833.
10. БАНТАШ, В. Г. *Формирование пектинового и фенольного комплексов яблок в условиях интенсивной культуры и обработки кальцием в связи с качеством плодов:* дис. канд. биол. наук. Кишинев, 1984. 178 с.

11. РИХТЕР, А. А., ГОРИНА, В. М. Полифенолы тканей плодов косточковых культур в профилактике некоторых заболеваний человека. В: *Плодоводство.* Ялта, Россия, 2018, т. 30, с. 273-283.
12. ВОСКРЕСЕНСКАЯ, О.Л., АЛЯБЫШЕВА, Е.А., ПОЛОВНИКОВА, М.Г. *Большой практикум по биоэкологии.* Учебное пособие. Часть I, Марийский ГОС Унив. Йошкар - Ола*,* 2006. 107 с. ISBN 5-94808-239-3.
13. SINGLETON, V.L., ORTHOFER, R.,LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In: Methods Enzymology. 1999, vol. 299, pp. 152-178. ISSN 0076-6879.
14. ПАЛИЙ, А.Е. Изменение активности полифенолоксидазы в листьях маслины европейской в холодный период на южном берегу Крыма. В: *Бюллетень ГНБС*. 2020. Вып. 135, с. 66-71. ISSN 0513-1634.
15. ZHANG, S. Recent Advances of Polyphenol Oxidases in Plants. In: *Moleculus*. 2023. 28(5):2158. Available: doi:10.3390/molecules28052158 [Accessed:21.05.2025].
16. ЗАПРОМЕТОВ, М.Н. *Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях.* Москва: Наука, 1993. 272 с.

N.B. *Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 011101 „Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.*

РОЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИСТОЧИКОВ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ГИФОМИЦЕТА *LECANICILLIUM LECANII* ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В ЖИДКИХ СРЕДАХ ГЛУБИННЫМ МЕТОДОМ

THE ROLE OF INORGANIC NITROGEN SOURCES IN THE NUTRITION OF HYPHOMYCETE *LECANICILLIUM LECANII* DURING SUBMERGED CULTIVATION IN LIQUID MEDIA

CZU: 579.64:632.937 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.26**

Татьяна ЩЕРБАКОВА
ORCID: 0000-0002-2632-325X
E-mail: tatiana.scerbacova@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The nutrient medium was optimized by the nitrogen source to obtain an effective insecticidal biopreparation for plant protection based on the hyphomycete L. lecanii. The present study used a basic liquid molasses-sucrose nutrient medium with the addition of ammonium nitrate (NH_4NO_3) and sodium nitrate ($NaNO_3$) in an amount of 3 g/L. No inorganic nitrogen source was added to control samples. The hyphomycete was cultured using the submerged method on a shaker at 200 rpm and 24°C for 96 hours. At the end of cultivation, the titer of the obtained suspensions was determined in a Goryaev chamber. Each sample was examined in the field of view of a microscope in a „crushed drop" preparation. As a result, the use of ammonium nitrate yielded a conidial suspension with a high titer of 1,0 × 10⁹ spores/mL, effective for protecting plants from sucking pests under greenhouse conditions. Nitrogen-containing components play a crucial role in enhancing the quality of a liquid biopreparation based on L. lecanii by promoting fungal growth, development, and mycelial maturation, ultimately leading to the production of a high-titer conidial suspension.*

Keywords: *insecticidal activity, Lecanicillium lecanii, nutrient medium, sources of nitrogen nutrition, titer.*

ВВЕДЕНИЕ

Для защиты растений от вредителей и болезней чаще всего используют химические пестициды. Несмотря на высокую эффективность в подавлении численности вредных организмов, химические пестициды одновременно влияют на полезные нецелевые объекты, вызывают развитие резистентности у вредителей и фитопатогенов, что приводит к нежелательному увеличению норм расхода химикатов.

Особенно остро стоит вопрос защиты растений в условиях закрытого грунта, где ассортимент разрешенных к применению пестицидов значительно снижен из-за быстрого загрязнения воздушного пространства теплиц и накопления токсиче-

ских остатков в овощной продукции. Несмотря на то, что количество видов вредителей в теплицах значительно меньше, чем в открытых агроценозах, благоприятные условия для выращивания растений (регулирование температуры, влажности, освещенности, минерального состава субстрата и круглогодичное использование теплиц) дают возможность вредителям воспроизводить потомство со стремительной скоростью и усиливать вредоносность. Комплекс вредителей закрытого грунта во всех тепличных производствах, практически, одинаков. Это паутинный клещ, оранжерейная белокрылка, бахчевая, персиковая, бобовая тля, трипсы, галловые нематоды – потери урожая от них могут достигать от 30-40% до 80% [1, 2].

В последние десятилетия приоритетным направлением защиты растений от вредных организмов является контроль и безопасность применения химических пестицидов, снижение негативного действия на окружающую среду. Сельское хозяйство многих стран изменило концепцию защиты растений с ориентацией на биологизацию и экологизацию фитосанитарных мероприятий в агроценозах [3].

Альтернативой химическим средствам защиты растений являются биопестициды на основе живых микроорганизмов с высокой вирулентностью и продуктов их метаболизма (антибиотики, токсины, ферменты и др.). Интерес к биопестицидам растет из-за их преимуществ, связанных с экологической безопасностью, целевой специфичностью и эффективностью применения в малых количествах для комплексной борьбы с вредителями, и это одна из многообещающих альтернатив для борьбы с загрязнением окружающей среды.

Важным этапом в получении эффективных биопрепаратов является подбор оптимальной питательной среды для культивирования биологических агентов. Модификация основных источников питания (углерод, азот) среды по компонентному и весовому составу способствует образованию биологически активных веществ, оказывающих разное действие (усиление либо ослабление) на вредные организмы, в отношении которых проявляли антагонизм или паразитизм [4].

Цель исследований: определить роль неорганических источников азотного питания нитрата аммония (NH_4NO_3) и нитрата натрия ($NaNO_3$) для гифомицета *Lecanicillium lecanii* при культивировании в жидких средах глубинным методом для получения эффективного биологического инсектицида для защиты тепличных культур от сосущих вредителей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Институте Генетики, Физиологии и Защиты Растений в составе Молдавского государственного университета в 2024 году. Объект исследований: энтомопатогенный гриб *Lecanicillium lecanii* R. Zare & W. Gams (2001), штамм 2T20, коллекционный номер в Национальной коллекции CNMN-FE-03, выделен из природной популяции оранжерейной белокрылки с последующим отбором методом пассажей через тест-насекомое. Проведено три пассажа через

обыкновенного паутинного клеща и три пассажа через бахчевую тлю, штамм проявляет патогенность в отношении оранжерейной белокрылки.

Для определения роли компонентов питательной среды нитрата аммония и нитрата натрия в получении эффективного биопрепарата на основе гифомицета *L. lecanii*, в исследованиях использовали базовую жидкую мелассно-сахарозную питательную среду с добавлением указанных компонентов в количестве 3 г/л. В контроле неорганический источник азота не добавляли. Гифомицет культивировали глубинным методом на шейкере со скоростью вращения 200 об/мин при температуре 24^0C в течение 96 часов. По окончании культивирования у полученных суспензий определяли титр в камере Горяева (рис. 1), каждую пробу просматривали в поле зрения микроскопа - препарат «раздавленная капля» [5].

Для определения титра необходимо приготовить серию разведений полученных суспензий: 1 мл суспензии пипеткой вносили в 99 мл воды, тщательно размешивали. Это разведение 10^{-2}. При необходимости можно делать разведения 10^{-3} и т.д. Покровное стекло помещали на опорные площадки камеры Горяева и притирали до появления радужных «колец Ньютона». Пипеткой вводили разведение суспензии в бороздку камеры под обе площадки, на которые нанесена сетка квадратов. В поле зрения микроскопа подсчитывали количество конидий в 10-ти больших квадратах (несколько повторностей). Титр считали по формуле:

$T = 25\times10^4 \times a \times n$, где
T – титр
a – среднее количество конидий в одном квадрате
n – разведение суспензии (10^{-2})
25×10^4 – постоянный коэффициент

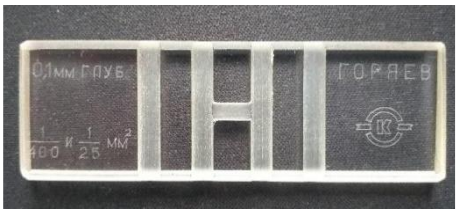


Рис. 1. Камера Горяева

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Энтомопатогенный гифомицет *Lecanicillium lecanii* R. Zare & W. Gams (2001) впервые был описан в 1899 году (Zimmermann) как *Cephalosporium lecanii*, впоследствии был отнесен к роду *Verticillium* (Zimm.) Viegas (1939), в настоящее время утвержденным названием рода является *Lecanicillium*, к которому могут относиться изоляты *L. lecanii, L. attenuatum, L. longisporum, L. muscarium* или *L. nodulosum.* Энтомопатоген является представителем отдела *Ascomycota*, класса *Sordariomycetes*, отряда *Hypocreales*, семейства *Cordycipitaceae* [6].

Гифы гриба тонкие, прозрачные, септированные, конидиеносцы образуются из воздушных гиф, короткие прямостоячие, несут одну или две мутовки фиалид. В стелющихся конидиеносцах число мутовок может быть неограниченно. Фиалиды игловидные, суженные к вершине, расположены под острым углом на главной оси конидиеносца, по 2-5 штук в мутовке. На верхушке фиалид образуются кони-

диальные головки со склеенными в них конидиями. Конидии многочисленные, эллипсоидальные, одноклеточные, 2,5-3,5×1-1,5 μm. Оптимальная температура для роста 21-24ºС, при 33ºС рост гриба отсутствует [6].

На агаризованных питательных средах гифомицет растет медленно. На картофельно-декстрозном и картофельно-сахарозном агарах при посеве блоком образуются колонии белого цвета округлой формы, воздушный мицелий хорошо развит, пышный, пушистый, реверс бежевый. Колония достигает размера 80×80 мм через 4-5 недель. При посеве газоном полное зарастание агаровой пластинки отмечено на 4-5 сутки. На среде солодовый агар штамм образует белые колонии круглой формы, профиль выпуклый, консистенция бархатистая, край реснитчатый, обратная сторона коричневая. На 15-е сутки роста при температуре 24ºС диаметр колонии достигает 35-45 мм, среду колонии не окрашивают, иногда выделяют экссудат, радиальная складчатость и зональность не выражена. Начало спороношения отмечено на 5-е сутки, обильное – на 10-15-е сутки. На среде Чапека штамм образует белые колонии правильной округлой формы, мицелий белый, тонкий, ползучий, развит слабо [7].

Гифомицет *L. lecanii* 2Т20 является возбудителем микозов тлей, белокрылок, клещей. При попадании гриба на тело вредителя происходит прорастание конидий и ростовая трубка внедряется в хитиновый покров насекомого, образуя апрессории. В полости тела образуются гифальные тела – бластоспоры, которые разносятся по телу вредителя, гриб продуцирует токсины, приводящие хозяина к гибели, после чего происходит колонизация грибом внутренних органов. После гибели насекомого гифы энтомопатогена прорастают на поверхность кутикулы и труп обрастает белым мицелием гриба *L. lecanii* [6].

Для получения эффективного инсектицидного биопрепарата для защиты растений на основе гифомицета *L. lecanii*, необходимо оптимизировать питательную среду по основным критериям: полноценный компонентный состав, доступность и невысокая стоимость питательного субстрата. Основными факторами для оптимизации среды являются концентрация источников азота и углерода, температура, кислотность (pH), способ и продолжительность культивирования. Показателем качества является титр готового препарата, т. е. количество живых конидий (спор) в 1 мл [8] и инсектицидная активность.

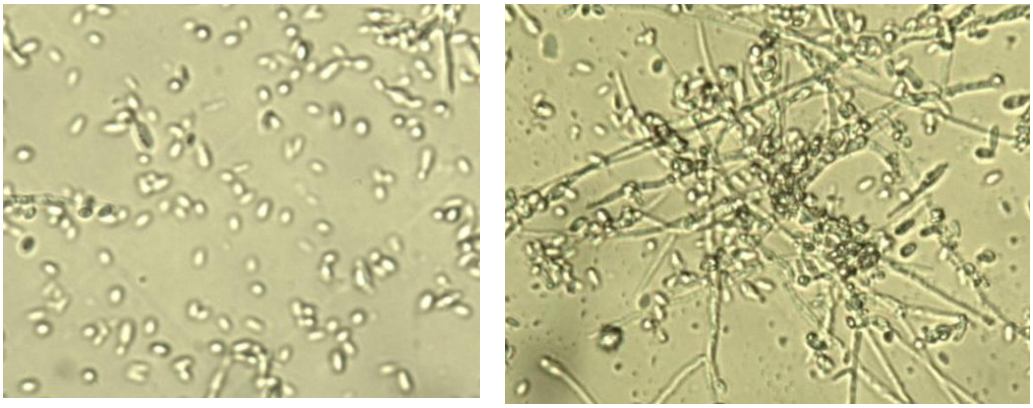
В нашей работе нерешенным остался вопрос определения наиболее эффективного неорганического источника азотного питания для гифомицета *L. lecanii* при культивировании в жидких средах и его роли для получения качественного биопрепарата с высоким титром.

Согласно результатам определения титра после завершения процесса культивирования *L. lecanii*, более высокий титр отмечен в суспензии с компонентом NH_4NO_3 и составил $1,0\times10^9$ спор/мл. Титр суспензии с содержанием $NaNO_3$ составил $0,7\times10^9$ спор/мл. Титр суспензии без неорганического азота составил $0,4\times10^9$ спор/мл, табл. 1.

Таблица 1. Определение титра суспензий в камере Горяева

№	**Число спор в 1-м квадрате камеры Горяева в суспензии с содержанием**								
	NH_4NO_3			**$NaNO_3$**			**Контроль, без азота**		
	повторности								
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
1	40	44	39	20	37	33	16	19	17
2	37	42	37	33	32	26	10	13	16
3	36	39	47	37	24	32	16	31	14
4	43	40	42	27	29	26	21	21	20
5	39	44	38	26	24	34	16	17	17
6	41	41	40	22	31	23	23	11	22
7	43	39	34	29	26	27	17	14	19
8	38	42	40	25	23	37	12	25	16
9	37	40	42	33	28	24	21	20	20
10	40	40	43	32	27	35	12	17	15
Ср.	39,4	41,1	40,2	28,4	28,1	29,7	16,4	18,8	17,6
Среднее в пробе 40,2				28,7			17,6		
Титр, спор/мл $1,0\times10^9$				$0,7\times10^9$			$0,4\times10^9$		

При просмотре в микроскоп препаратов «раздавленная капля», суспензия без содержания азота состояла из большого количества мицелия, который не успел за 96 часов при непрерывном вращении на шейкере со скоростью 200 об/мин и постоянной температуре 24^0C максимально развиться из посевного материала, созреть и рассыпаться на конидии, что отмечено у суспензии с использованием нитрата аммония NH_4NO_3. В суспензии с нитратом натрия $NaNO_3$ также наблюдался мицелий, но в меньшем количестве, рис. 2.



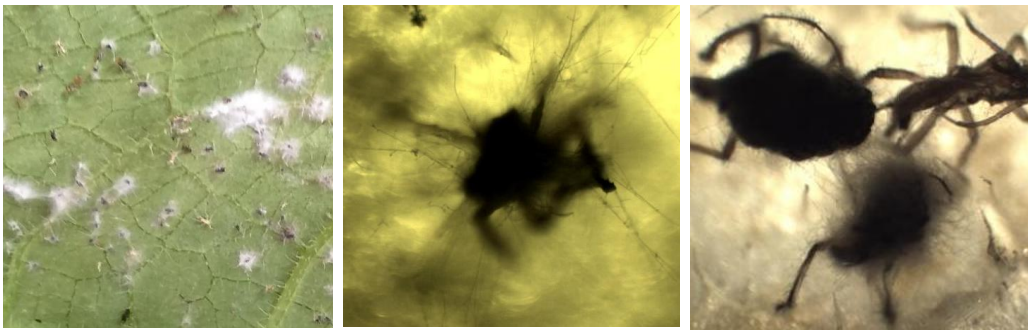
a) b)

Рисунок 2. Суспензия *L.lecanii* после культивирования на шейкере в течение 96 часов: a) с содержанием NH_4NO3, b) – без содержания азота

Суть применения конидиального препарата с минимальным количеством несозревшего мицелия продуцента *L.lecanii* состоит в механизме действия после попадания препарата на вредителя: более быстрое прорастание отдельных конидий в тело вредителя. Конидиальный препарат может обеспечить мелкокапельный распыл, равномерное покрытие и распределение на обрабатываемых поверхностях, в том числе попадание в труднодоступные места. Мелкие капли лучше смачивают листья и стебли растений, что способствует лучшему проникновению препарата в растения и целевые объекты. При мелкокапельном распыле на единицу площади попадает больше частиц препарата, что повышает вероятность контакта с вредными организмами и повышает эффективность защитных мероприятий, особенно с мелкими вредителями, такими как паутинный клещ. Мелкие капли менее подвержены стеканию с поверхности листьев, при этом уменьшаются потери препарата. Важным моментом является сохранность оборудования в рабочем состоянии от попадания мицелиальных сгустков.

Таким образом, из двух неорганических источников азотного питания для гифомицета *L. lecanii* при культивировании в жидких средах для получения качественного биологического препарата, выбран нитрат аммония NH_4NO_3 – с высоким титром $1{,}0\times10^9$ спор/мл, доступный и недорогой компонент питательного субстрата.

Инсектицидную активность суспензии с содержанием NH_4NO_3 определяли в отношении бахчевой тли и обыкновенного паутинного клеща на растениях огурца гибрида *Mirebelle* в условиях теплицы. Применяли методом опрыскивания, исходную суспензию разбавляли водой до получения титра 10^6 - 10^7 спор/мл, или 3,5% -я концентрация *L. lecanii.* Спустя 14 дней на вредителях отмечен выросший гриб *L. lecanii,* при просмотре в микроскоп на особях клеща и тли отмечен разрастающийся мицелий гриба, рис. 3.



a) b) c)

Рисунок 3. Поражение вредителей гифомицетом *L. lecanii.* a) – бахчевая тля, обросшая мицелием гриба на листе огурца, b) – паутинный клещ, ×100 и c) бахчевая тля, ×40, в поле зрения микроскопа, развитие мицелия на телах вредителей

ВЫВОДЫ

Из проведенных исследований следует, что роль азотосодержащих компонентов для качества жидкого биопрепарата на основе гриба *L.lecanii* состоит в ускорении роста, развития и созревания мицелия и получения конидиального препарата с высоким титром и однородной консистенцией. Ускоренное развития мицелия в питательной среде оказывает влияние на общую стоимость препарата – уменьшение периода культивирования и снижение затрат на энергоресурсы.

БИБЛИОГРАФИЯ:

1. ГОРЯНИКОВ, Ю.В. *Вредители и болезни закрытого грунта*. Учебное пособие. Черкесск, 2022, 180 с.
2. BARATHI S., SABAPATHI N., KANDASAMY S., LEE J. Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation-a review. In: J. Environmentaln Research, 2024, v. 240, Part 1, p. 117432.
3. ДОЛЖЕНКО, Т.В. Биологизация и экологическая оптимизация средств защиты сельскохозяйственных культур от вредителей. Дисс. на соискание уч. степени доктора биол. наук. Санкт-Петербург, 2017, с. 301.
4. ШТЕРНШИС, М.В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 92–100. ISSN 2311-2077.
5. БЕХТЕР, И., ВЕТЦЕЛЬ, Т., ДРЕВС, Ф.В. и др. Методы определения болезней и вредителей сельско-хозяйственных растений. Москва: Агропромиздат, 1987, 224 с.
6. ZARE R. and GAMS W. A revision of *Verticillium* sect. *Prostrata*. IV. The genera *Lecanicillium* and *Simplicillium* gen. nov. In: Nova Hedwigia. 2001. v. 73 (1), p. 1-50.7. ЩЕРБАКОВА, Т. Гифомицет *Lecanicillium lecanii* для защиты растений от сосущих вредителей и фитопатогенов в условиях теплицы. In: J. Studia Universitatis Moldaviae, seria Științe reale și ale naturii, nr. 6(176), 2024, p. 19-27. ISSN 1814-3237. (Cat. B).
7. ЕГОРОВ, Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: МГУ, 1995, 224 с.

N.B. *Исследования проведены в рамках проекта Подпрограммы 011103 «Elaborarea mijloacelor ecologic inofensive de reducere a impactului organismelor dăunătoare ale culturilor agricole pe fondalul schimbărilor climatice».*

CONTRIBUȚII LA CUNOAȘTEREA INSECTELOR (COLEOPTERA, ODONATA, HYMENOPTERA) DIN PARCUL NAȚIONAL ORHEI

CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF INSECTA (COLEOPTERA, ODONATA, HYMENOPTERA) FROM THE ORHEI NATIONAL PARK

CZU: 595.7:502.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.27**

Svetlana BACAL
ORCID: 0000-0002-8774-7718
E-mail: svetlana.bacal@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina BUȘMACHIU
ORCID: 0000-0002-9724-2414
E-mail: galina.busmachiu@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Cristian MÎNZAT
ORCID: 0000-0002-0491-1771
E-mail: minzat@tuta.io
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Tamara VERINGĂ
ORCID: 0000-0002-4366-5841
E-mail: tamara.veringa@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Livia CALESTRU
ORCID: 0000-0003-1646-5542
E-mail: livia.calestru@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The paper presents the results of the study of species diversity of orders Coleoptera, Odonata, Hymenoptera from natural ecosystems in the Orhei National Park. A total of 59 insect species were collected during the spring-summer period of 2025, between them 34*

species of Coleoptera, 10 species of Odonata and 15 species of Hymenoptera from the localities Butuceni, Ivancea, Mana, Țîgănești, Trebujeni and Vatici. The list of species is includet and data of collection and locality are specified.

Keywords: *beetle, ant, wasp, bee, dragonfly, natural ecosystems, Orhei National Park.*

INTRODUCERE

Ecosistemele forestiere, pajiștile, luncile inundabile și versanții calcaroși ai râurilor constituie habitate prielnice pentru dezvoltarea insectelor. Deși e demonstrat că cea mai mare diversitate se întâlnește în pădurile tropicale [1; 2], iar pentru speciile saproxilice păstrarea lemnului mort în ecosistemele naturale este esențială [3]. În perioada de primăvară-vară a anului 2025 de către colaboratorii Laboratorului de Entomologie al Institutului de Zoologie, USM, au fost investigate diverse biotopuri comune faunei de insecte din Parcul Național Orhei. Unele specii de insecte după modul de trai sunt edafice și consumă resturi organice (litieră, lemn mort, etc), alte specii sunt zoofage și consumă ouă, larve și insecte de dimensiuni mici, sunt și specii necrofage, coprofage, micofage, fitofage sau polenivore. Cercetările pentru lucrarea de față s-au realizat pe teritoriul parcului, care include patru raioane: Orhei, Strășeni, Călărași și Criuleni și 18 localități. Parcul Național Orhei (PNO) deține o suprafață de 33.792,09 ha și este situat pe Podișul Codrilor (90,7%), regiunea de silvostepă (9,3%), care include canioane calcaroase pe malurile râurilor Răut și Nistru. Versanții înălțimilor Codrilor sunt caracterizați de un relief nisipos, reprezentat de creste înguste, văi adânci și dealuri. Conform analizei colecției de insecte depozitate în Muzeul de Entomologie a Institutului de Zoologie, USM, cercetarea entomofaunei din teritoriul actual al PNO a demarat în anii 60 ai secolului XX și includea localitățile Ivancea, Vatici, Trebujeni și Butuceni. Cercetările entomologice au continuat și în secolul XXI. Inventarul speciilor din ordinul Coleoptera de la Muzeul de Entomologie al Institutului de Zoologie a relevat prezența a numeroase specii colectate din PNO [4; 5].

MATERIAL ŞI METODĂ

Materialul coleopterologic și furnicile au fost colectate din pădurea naturală de la Țîgănești (28.03.2025), Mana (28.03.2025), Ivancea (29.05.2025) și Vatici (16.04.2025, 21.06.2025) și s-a realizat prin metoda directă, cu fileul entomologic (100 de cosiri pe longitudinală), cu aspiratorul entomologic (din lemnul mort), scuturarea pe umbrelă (a ramurilor cu flori). Speciile de viespi și odonate au fost fotografiate în habitatele lor naturale, localitățile Trebujeni și Butuceni (29.05.2025 și 21.06.2025), de-a lungul malurilor râului Răut de la Ivancea (29.05.2025) și de pe vegetația erbacee de-a lungul malurilor iazurilor.

Insectele colectate (coleoptere, libelule, viespi și furnici) au fost plasate în vase din plastic, iar în laborator au fost triate și determinate pe baza caracterelor de morfologie externă conform determinatoarelor de specialitate [6-13].

REZULTATE ŞI DISCUŢII

În rezultatul determinării materialului colectat în perioada de primăvară-vară a anului 2025 din diverse ecosisteme ale Parcului Național Orhei, au fost colectate 59 de specii de insecte din 3 ordine: Coleoptera, Odonata și Hymenoptera.

Din ordinul Coleoptera au fost colectate și determinate 34 de specii ce aparțin la 28 de genuri și 14 familii. Din ordinul Odonata au fost identificate 10 specii, care fac parte din 8 genuri și 4 familii. Din ordinul Hymenoptera au fost colectate și observate 15 specii, 10 din familia Formicidae, care fac parte din 4 genuri, 3 specii de Viespidae și câte o specie din familiile Scoliidae și Apidae. Lista speciilor este înscrisă în tabelul nr. 1, cu asterisc (*) sunt marcate 9 specii de insecte citate în premieră pentru PNO.

Cele mai multe specii din ordinele Coleoptera și Hymenoptera au fost colectate în principal din ecosistemele forestiere, în liziera pădurii și din poiene, pe când speciile de Odonata au fost colectate din habitatele umede. Numărul mic de indivizi depistați în ecositemele cercetate este determinat nu doar de factorii abiotici (temperaturi ridicate, lipsa umidității, prezența stratului organic, etc.) și biologici (sursa de hrană, etc.), dar și de factorul antropic care a poluat bazinele acvatice, a plantat monoculturi, a tăiat arbuștii de la liziera pădurii etc. Comparând rezultatele cercetărilor anterioare [14-17] putem constata că deși insectele demonstrează o plasticitate înaltă și ocupă noi biotopuri, atât diversitatea acestora cât și efectivul lor este scăzut [18-21].

Tabelul 1. Fauna de insecte colectate din Parcul Național Orhei (2025)

Familia/ Specia	Ex./data	Localitatea/ habitatul
COLEOPTERA		
Tenebrionidae		
Uloma culinaris (Linnaeus, 1758)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Monotomidae		
Rhizophagus bipustulatus (Fabricius, 1792)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Scarabaeidae		
Tropinota hirta (Poda, 1761)	4 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure/lizieră
Lucanidae		
Lucanus cervus (Linnaeus, 1758)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Coccinellidae		
Subcoccinella 24-punctata (L., 1758)	5 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure/lizieră
Coccinella 7-punctata (Linnaeus, 1758)	2 ex., 21.06.2025	Vatici/pădure/lizieră
Coccinula 14-pustulata (Linnaeus, 1758)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/pădure
Harmonia axyridis (Pallas, 1773)	6 ex., 21.06.2025	Vatici/pădure/lizieră
Propylaea 14-punctata (Linnaeus, 1758)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/pădure

Carabidae		
Platynus assimilis (Paykull, 1790)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Chrysomelidae		
Cassida vibex Linnaeus, 1767	1 ex., 29.05.2025 1 ex., 21.06.2025	Ivancea/lizieră Vatici/lizieră
Cassida viridis Linnaeus, 1758	1 ex., 21.06.2025	Vatici/lizieră
Chrysolina fastuosa (Scopoli, 1763)	4 ex., 21.06.2025	Vatici/ lizieră
Chrysolina sanguinolenta (L. 1758)	1 ex., 29.05.2025 2 ex., 21.06.2025	Ivancea/ lizieră Vatici/poiană
Chrysolina sturmi (Westhoff, 1882)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/ lizieră
Chrysomela saliceti (Suffrian, 1849)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/poană
Clytra laeviuscula (Ratzeburg, 1873)	2 ex., 29.05.2025 4 ex., 21.06.2025	Ivancea/lizieră Vatici/poană/lizieră
Cryptocephalus anticus Bedel,1891	2 ex., 29.05.2025 1 ex., 21.06.2025	Ivancea/lizieră Vatici/lizieră
Cryptocephalus sericeus (Linnaeus, 1758)	2 ex., 21.06.2025	Vatici/poiană/lizieră
Hypocassida subferruginea (Sch., 1776)	1 ex., 29.05.2025 3 ex., 21.06.2025	Ivancea/lizieră Vatici/poiană
Lilioceris lilii (Scopoli, 1763)	2 ex., 21.06.2025	Ivancea
Oulema melanopus (Linnaeus, 1761)	1 ex., 29.05.2025 3 ex., 21.06.2025	Ivancea/ lizieră Vatici/lizieră
Oulema gallaeciana (Heyden, 1879)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/ lizieră
Smaragdina salicina (Scopoli, 1763)	1 ex., 21.06.2025	Vatici/lizieră
Erotylidae		
Tritoma bipustulata Fabricius, 1775	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Ciidae		
Cis boleti (Scopoli, 1763)	5 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Zopheridae		
Bitoma crenata (Fabricius, 1775)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Staphylinidae		
Scaphisoma boleti (Panzer, 1793)	2 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Omalium rivulare (Paykull, 1789)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Silphidae		
Phosphuga atrata (Linnaeus, 1758)	1 ex., 14.04.2025	Vatici/pădure
Cantharidae		
Cantharis livida Linnaeus, 1758	1 ex., 21.06.2025	Vatici/lizieră
Cantharis rustica (Fallén, 1807)	4 ex., 21.06.2025	Vatici/lizieră
Cerambycidae		
Stenurella melanura (Linnaeus, 1758)	4 ex., 21.06.2025	Vatici/lizieră
Morimus funereus Mulsant, 1863	1 ex., 29.05.2025	Trebujeni/pădure

ODONATA		
Coenagrionidae		
Coenagrion puella (Linnaeus, 1758)	numeroase, 29.05.2025; numeroase, 21.06.2025	Butuceni, Trebujeni/Răut
Coenagrion pulchellum (V.Linden, 1825)	numeroase, 29.05.2025	Butuceni, Trebujeni/Răut
Ischnura elegans (Vander Linden, 1820)	numeroase, 29.05.2025; numeroase, 21.06.2025	Butuceni, Trebujeni/Răut
Erythromma viridulum (Ch., 1840)	1 ex., 29.05.2025	Ivancea/iaz
Platycnemididae		
Playcnemis pennipes (Pallas, 1771)	numeroase, 29.05.2025; numeroase, 21.06.2025	Butuceni,Trebujeni/ Răut, Ivancea/iaz
Libellulidae		
Anax imperator (Leach, 1815)	1 ex., 29.05.2025	Butuceni/Răut
Orthetrum albistylum (Selys, 1848)	2 ex., 29.05.2025; 1 ex., 21.06.2025	Butuceni,Trebujeni/ Răut, Ivancea/iaz
Orthetrum cancellatum (Linnaeus, 1758)	1 ex., 21.06.2025	Butuceni,Trebujeni/ Răut, Ivancea/iaz
Crocothemis erytraea (Brullé, 1832)	numeroase, 21.06.2025	Ivancea/iaz
Calopterygidae		
Calopteryx splendens (Harris, 1780)	7 ex., 29.05.2025; numeroase, 21.06.2025	Butuceni,Trebujeni/Răut
HYMENOPTERA		
Vespidae		
Paravespula germanica (Fabricius, 1793)	2 ex., 29.05.2025	Trebujeni,Butuceni/agro-cenoză
**Polistes gallicus* Linnaeus, 1767)	cuib, 21.06.2025	Trebujeni/vegetație ier-bacee
Vespa crabro Linnaeus, 1758	3 ex., 21.06.2025	Trebujeni, Butuceni/ lizieră
Scoliidae		
Megascolia maculata Drury, 1773	2 ex., 21.06.2025	Trebujeni/lizieră

Apidae		
Xylocopa violacea (Linnaeus, 1758)	1 ex., 29.05.2025	Butuceni/Răut
Formicidae		
**Camponotus fallax* (Nylander, 1846)	28.03.2025	Țîgănești, Mana/pădure și lizieră
**Formica polyctena* Forster, 1850	4 furnicare 28.03.2025	
**Formica pratensis* Retzius, 1783	28.03.2025	
Formica rufa Linnaeus, 1761	3 furnicare, 28.03.2025	Mana/lizieră
**Formica rufibarbis* Fabricius, 1793	16.04.2025	Vatici/lizieră
Lasius alienus (Förster, 1850)	14 furnicare, 16.04.2025	Vatici/lizieră
**Lasius fuliginosus* (Latreille, 1798)	Lemn, 16.04.2025	Vatici/pădure
**Lasius niger* (Linnaeus, 1758)	Lemn descompus 28.03.2025	Țîgănești, Mana, Vatici/ pădure
**Lasius umbratus* (Nylander, 1846)	Lemn descompus, 16.04.2025	Vatici/lizieră
**Tetramorium caespitum* (L., 1758)	16.04.2025	Vatici/poiană

Fauna insectelor este diferită în raport cu ecosistemul cercetat. Astfel ecosistemele riverane dețin o fauna bogată nu doar de libelule, dar și de coleoptere și himenoptere. Pentru ecosistemul forestier au fost caracteristice 20 de specii de insecte, dintre care 17 specii de coleoptere și 3 specii de furnici. Toate libelulele au fost caracteristice vegetației erbacee de pe malurile bazinelor acvatice. Furnicile au fost colectate atât din pădure și poiene, din lemnul mort, cât și de la liziera pădurii. Coleopterele din familia Chrysomelidae au fost colectate de pe plante ierboase sau arbuști din poiene sau lizieră. Libelulele, furnicile și viespile după regimul trofic sunt specii prădătoare, coleopterele reprezintă un drup destul de divers din punct de vedere trofic, numeroase specii fiind polenivore și fitofage în stadiul de adult, iar în stadiul larvar pot fi prădătoare, detritofage sau fungivore, în timp ce alte specii sunt zoofage atât în stadiul de adult cât și cel larvar.

Libelulele se consideră printre cele mai sensibile și vulnerabile insecte, acestea reacționează spontan la schimbările de mediu, la modificarea și fragmentarea habitatului. Fragmentarea habitatelor este o consecință a micșorării populațiilor unor specii de insecte și chiar dispariției acestora, printre care putem menționa și specia *Rosalia alpina*, atestată în anul 1953 în Parcul Național Orhei [4]. Importanța insectelor pentru ecosistemele natural este enormă, astfel în ecosistemele forestiere coleopterele sunt esențiale în degradarea lemnului mort [22], în timp ce în ecosistemele deschise precum pajiști, pășuni și diverse culturi agricole un rol esențial în polenizarea plantelor cu flori îl dețin coleopterele după albine și fluturi.

În Parcul Național Orhei în 2025 au fost semnalate 5 specii rare de insecte: două coleoptere - *Lucanus cervus* și *Morimus funereus*, 2 specii de himenoptere - *Megascolia maculata* și *Xylocopa violacea* și o specie de libelule *Anax imperator* - incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova.

Gărgăunul sau *Vespa crabro* a fost semnalată adesea în păduri, aceasta își face cuibul în apropierea stupinelor plasate la liziera pădurilor. Specia este zoofagă, atacă albinele în fața urdinișelor, dar se hrănește de obicei cu cadavrele albinelor căzute în fața stupilor. Uneori poate ataca și omul, veninul specie este toxic iar contactul poate fi letal. Specia își face cuibul în bușteni și arborii putrezi pe picior. Utilizarea capcanei cu sirop și oțet poate ajuta la colectarea acestei specii din perimetrul locuințelor. Destul de răspândită pe teritoriul parcului este și specia *Vespa germanica.*

CONCLUZII

Cercetările entomologice realizate în perioada de primăvară-vară anului 2025 în ecosistemele naturale și antropizate ale Parcului Național Orhei au permis identificarea a 59 de specii de specii de insecte din ordinele Coleoptera, Odonata și Hymenoptera. Dintre acestea 34 de specii au fost din ordinul Coleoptera, urmate de 15 specii din ordinal Hymenoptera (10 furnici, 3 viespi și câte o scolie și o albină) și 10 specii din ordinul Odonata. Au fost semnalate și 2 specii de coleoptere rare *Lucanus cervus* și *Morimus funereus*, 2 specii de himenoptere - *Megascolia maculata* și *Xylocopa violacea* și o specie de libelule *Anax imperator* incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova. Prezența speciilor rare în biotopurile cercetate constituie un indicator important al stării ecologice satisfăcătoare ale ecositemelor studiate din Parcul Național Orhei.

REFERINȚE:

1. STORK, N.E. Measuring global biodiversity and its decline. In: *Biodiversity II. Understanding and Protecting our Biological Resources* (M.L. Reaka-Kudla, D.E. Wilson and E.O. Wilson, eds.). Ashington, D.C., USA: Joseph Henry Press. 1997, p. 41–68.
2. HAMMOND, P.M. Described and estimated species numbers: an objective assessment of current knowledge. In: *Microbial Diversity and Ecosystem Function* (D. Allsopp, D.L. Hawksworth and R.R. Colwell, eds.), Wallingford, UK: CAB International. 1995, p. 29–71.
3. HARDING, P.T. The use of saproxylic Coleoptera in the selection of areas of relic forest in Britain. In: *Threatened Species and Bio-indicators at the Pan-European Level*. (I. Valovirta, P.T. Harding and D. Kime, eds.). Proceedings of the 9th International Colloquium of the European Invertebrate Survey, Helsinki, Finland: WWF Finland. 1993.
4. BACAL, S., BURDUJA, D., BUȘMACHIU, G., CEBOTARI, C., MERKL, O. Longhorn beetles in the entomological collections of the Republic

of Moldova (Coleoptera: Cerambycidae). În: *Folia entomologica hungarica*, 2020, nr. 81, p. 43-72. ISSN 0373-9465. DOI: https://doi.org/10.17112/FoliaEntHung.2020.81.43

5. BACAL, S., BUȘMACHIU, G., BURDUJA, D. Contribuții la cunoașterea buburuzelor (Coleoptera: Coccinellidae) din fauna Republicii Moldova. În: *Akademos*, 2021, 1(60), p. 20-27.
6. Die Käfer Europas. https://coleonet.de/coleo/index.htm (Accessed: 20.05.2025)
7. DYATLOVA, E. Dragonflies of Moldova: state of knowledge and personal observations. In: *International Dragonfly Fund – Report*, 2010, 25, p. 1–43.
8. BOLTON, B. *Identification guide to the ant genera of the world.* Harvard University Press, Cambridge, MA, 1994, 222 p.
9. BOUDOT, J.-P., KALKMAN V.J. (eds) *Atlas of the European dragonflies and damselflies*. KNNV publishing, the Netherlands. 2015, 384 p.
10. STOCKAN, J., ROBINSON, E.J., TRAGER, J.C., YAO, I., SEIFERT, B. Introducing wood ants: evolution, phylogeny, identification and distribution. In: *Wood ant ecology and conservation*, 2016, p. 1-36, doi: 10.1017/CBO9781107261402.002
11. WILSON, E.O. A monographic revision of the ant genus *Lasius*. In: *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. 1955, nr. 113, p. 1-201.
12. UC Statewide IPM Program. Key to Identifying Common Household Ants. University of California, Agriculture and Natural Resources. 2005, Available: https://www.maine.gov/dacf/php/gotpests/bugs/factsheets/antkey-cal.pdf [Accessed: 12.06.2025].
13. AntWeb. Available: http://antweb.org, [Accessed: 05.05.2025].
14. MILLER, E., ZUBOWSKY, N. Materials on the entomological fauna of Bessarabia. In: *Proceedings of the Bessarabian Society of Naturalists and Life Science Amateurs*. 1917. nr. 6, p. 119–150.
15. MEDVEDEV, S., SHAPIRO, D. To the knowledge of the beetle fauna (Coleoptera) of the Moldavian Soviet Socialist Republic and the neighbouring districts of Ukraine. In: *Scientific works of the biological institute and biological department of the Kharkov State University.* 1957, nr. 30, p. 173–206.
16. BACAL, S. *Coleopterele saproxilice din Republica Moldova.* Chișinău: S. n., Căpățînă-Print, 2022, 256 p. https://doi.org/10.53937/9789975347297.
17. PODDUBNYY, A.G., LIKHOVIDOV, V.E., VERLAN, E.T. Osobennosti raspredeleniya mirmekofauny v Kodrakh Moldavii. In: *Fauna, ekologiya i fiziologiya zhivotnykh.* Kishinev. 1980, p. 43-47.
18. BUȘMACHIU, G., BACAL, S. The fauna of Collembola and Coleoptera of the Orheiul Vechi archaeological complex. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. Chișinău, № 2(329), 2016, p.79-86.
19. BUȘMACHIU, G., BACAL, S., BURDUJA, D., CALESTRU, L., BELOVA,

V. *Buburuzele (Insecta: Coccinellidae) din Republica Moldova*. Căpățină Print. 2022, 68 p.

20. BUȘMACHIU, G., MÎNZAT, C. Diversity of Odonata and Hymenoptera (Formicidae) from the Orhei National Park. In: *The scientific symposium "Biology and Sustainable developement" The 21th edition. Muzeul de Ştiinţe ale Naturii „Ion Borcea",* Bacău, România, 2023, 43-44 p.
21. BACAL, S., BUȘMACHIU, G., CREȚU, I. Contribution to the knowledge of beetles (Insecta:Coleoptera) from Orhei National Park. În: *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii.* 2023, 39(1), p. 117-123. ISSN 1454-6914.
22. DAJOZ, R. Les insectes xylophages et leur role dans la degradation du bois mort. In: *Ecologie Forestiere* (P. Pesson, ed.), Paris, France: Gauthier-Villars. 1974, p. 257–308.

N.B. *Lucrarea a fost susținută de subprogramul 010701 „Evaluarea structurii și funcționării lumii animale și a ecosistemelor acvatice sub influența factorilor biotici și abiotici în contextul asigurării securității ecologice și a bunăstării populației" și proiectul „Evaluarea stării speciilor de plante, fungi și animale, elaborarea listei speciilor cu statut de raritate și algoritmului de prezentare a acestora în ediția a IV-a, a Cărții Roșii a Republicii Moldova".*

INOVAȚII ÎN TEHNOLOGIILE EDUCAȚIONALE ŞI ÎN METODELE DE FORMARE PROFESIONALĂ CONTINUĂ BAZATE PE DEZVOLTAREA INTEGRĂRII SENZORIO-MOTORII

INNOVATIONS IN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES AND CONTINUING PROFESSIONAL TRAINING METHODS BASED ON THE DEVELOPMENT OF SENSORIMOTOR INTEGRATION

CZU: 37.02:[502.1:613.86] **https://doi.org/10.59295/spd2025e.28**

Anatolie BACIU
ORCID: 0000-0003-1966-4176
E-mail: anatolikbacio@gmail.com
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Lyudmila LISTOPADOVA
ORCID: 0009-0004-2077-5900
E-mail: listopadovaliudmila@gmail.com
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary*. A synthetic work based on a literature review, aimed at identifying a conceptual solution to the issue of developing and adapting educational technologies and professional training programs through the application of advances in neuroscience and occupational physiology. The general objective was formulated to carry out a synthesis and to obtain a physiological and neurophysiological foundation for innovative education and professional development programs based on a review of the specialized literature. The proposal involves aligning educational activities with the concept of "human enhancement" and gradually implementing algorithms and programs for consolidating sensorimotor integration, as well as the so-called "brain balance" and "sensory diet". Attention is drawn to the effectiveness of developing methods of occupational therapy and interaction between highly skilled workers and robotics during the implementation of production processes. This synthesis can be considered compelling evidence of the need to implement dual education.*

Keywords*: nutrition, circadian, recreation, screening, sensorimotor.*

INTRODUCERE

Elaborarea conceptuală a programelor inovatoare de perfecționare a calităților profesionale, utilizând abordări bazate pe dezvoltarea integrării senzorio-motorii, devine deosebit de necesară în contextul actual al evoluției proceselor de producție. Pentru re-

alizarea obiectivelor legate de dezvoltarea unui model conceptual de implementare a metodelor inovatoare în tehnologiile educaționale și în metodele de formare profesională continuă a resurselor umane poate fi utilizată ca fundament conceptul de „Îmbunătățire a ființei umane” [1, p. 350]. Mai mult decât atât, prevenire a neurodegenerării și reabilitare a aparatului neuromuscular poate fi realizată prin abordări fiziologice și neuroinginereşti în tehnologiile de potențare a neuroplasticității şi plasticităţii tisulare, în general. Ținând cont de cele menționate mai sus, a fost formulat obiectivul general de a realiza o sinteză și de a obține o fundamentare fiziologică și neurofiziologică a programelor inovatoare de educație și perfecționare profesională pe baza unei analize a literaturii de specialitate.

MATERIAL ŞI METODĂ

A fost realizată o sinteză sistematizatoare pe baza unei analize a surselor disponibile din literatura științifică, accesate din baze de date globale: PubMed Central® (National Library of Medicine, NLM); Scopus; Web of Science; Google Scholar.

Pentru realizarea căutării au fost utilizate cuvinte-cheie și expresii-cheie precum: „human enhancement occupational”; „human resources education working”; „sensorimotor integration”; „overloading fatigue screening”; „occupational therapy”, „biomechanic manufactory”. Nu au fost aplicate restricții de căutare, precum „animal”, „human”, „research”, „original data”, „review” – toate sursele disponibile au fost incluse în căutare. Au fost consultate în total 117 de surse, a fost realizată o analiză a datelor disponibile și a fost elaborată o sinteză care reprezintă o încercare de a atinge obiectivele propuse.

REZULTATE ŞI DISCUŢII

Concepția de „îmbunătățire a ființei umane” prevede utilizarea diverselor metode progresive, naturale sau artificiale, care asigură creșterea și perfecționarea capacităților psihoemoționale, intelectuale și fizice potențiale ale omului, precum și diagnosticarea de laborator la timp, prevenirea și controlul tulburărilor şi maladiilor, recreerea și reabilitarea indivizilor. Este important de menționat că există trei forme de îmbunătățire a ființei umane: reproductivă; fizică şi mintală [2, p. 273]. Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a elaborat așa-numitul „Plan de consolidare a potențialului uman” (Human Capacity-Building Plan) [3, p. 2].

În primul rând, realizarea algoritmilor și programelor de „îmbunătățire a ființei umane” sau de „consolidare a potențialului uman” trebuie să fie orientată în mod specific către sistemele de schimb gazos din organism, asigurarea trofică prin nutrienți, adică prin materiale de construcție, și consolidarea integrării senzorio-motorii. Atenuarea, scăderea calității și productivității activității educaționale, profesionale și de serviciu au loc, în primul rând, din cauza procesării senzoriale deficitare și a integrării senzorio-motorii necorespunzătoare. Procesarea senzorială afectată și integrarea senzorio-motorie neconsolidată sunt adesea asociate cu alte stări mintale nefavorabile sau contribuie la

dezvoltarea acestora. Printre aceste stări se numără: anxietatea, tulburările de panică, depresiile, sindromul de stres post-traumatic sau chiar schizofrenia. Sindromul de deficit de atenție, tulburările de dezvoltare individuală sau tulburările din spectrul autist sunt, de asemenea, frecvent asociate cu aceste condiții. Într-un asemenea context, capacitatea de învățare (atât intelectuală, cât și fizică) scade semnificativ, iar integrarea senzoriomotorie se slăbește [4, p. 455].

În tehnologiile care asigură formarea sănătății există o metodă inovatoare bazată pe aplicarea programelor de „Echilibrare a creierului" [5, p. 36]. Crearea acestor programe este inspirată de conceptul asimetriei activității cerebrale. Conceptual și strategic lucrarea este dedicată dezvoltării unei abordări în tehnologiile de promovare a sănătății, bazată pe metode naturale de influențare a aparatului senzorial și neuromotor și, prin aceasta, pe creșterea capacității de învățare și a productivității resursei umane. Pe lângă elaborarea conceptuală, în cercetările proprii se aplică modelarea experimentală a condițiilor naturale de viață la animale de laborator sub acțiunea hipoxiei și hipercapniei, dispneei forțate. De asemenea, s-a realizat modelarea experimentală a exercițiilor senzorio-motorii la animale de laborator, precum și modelarea experimentală a desincronizării ritmului circadian „veghe-somn" și „alimentare-foame" la animale de laborator. În aceste modele experimentale, la animalele de laborator este imitată în mod experimental o „Mediu îmbogățit", care contribuie la creșterea și diversificarea activității cognitive și motorii, precum și la intensificarea activității senzorio-motorii în perioada de recuperare și recreere, adică în timpul somnului. Elaborarea conceptuală și rezultatele testărilor experimentale se bazează pe metode naturale din tehnologia de îmbunătățire a ființei umane, care sprijină adaptarea armonioasă a individului la activitățile sale zilnice educaționale, profesionale și de serviciu în condiții specifice de existență. Succesul unei astfel de adaptări, pe termen lung, ar trebui să asigure prevenirea transformărilor distructive și neurodegenerative, precum și a modificărilor morfo-funcționale în activitatea aparatului senzorial și neuromotor. Un program de prevenție nu poate fi organizat fără dezvăluirea mecanismelor fundamentale de coordonare a activității aparatului neuromotor, în funcție de condițiile de viață și de natura activităților educaționale, profesionale și de serviciu cotidiene, precum și de metabolismul energetic, plastic și de alimentație. Tocmai modelarea experimentală ne-a permis să obținem date care dovedesc existența unor modificări induse ale bioritmurilor circadiene „veghe-somn" și „alimentare-foame", o creștere a dereglării alternanței clare dintre fazele de activitate și recreere, precum și apariția unor episoade de activitate intensificată și de consum alimentar în perioada somnului.

Etapa inițială a oricărui program de instruire, perfecționare profesională sau program de training constă în evaluarea capacității individului de a-și îndeplini operațiile cognitive specifice și actele motorii în cadrul pregătirii profesionale cotidiene. Această evaluare este corelată cu determinarea regimului de alimentație, recreere și somn, precum și cu menținerea unui nivel adecvat de calitate și productivitate în activitatea educațională, profesională și de serviciu.

O serie de măsuri sunt orientate spre detectarea semnelor de oboseală centrală și periferică sau de epuizare extremă; în special, este necesară diferențierea între oboseala cognitivă, psihoemoțională și fizică. Uneori nu se poate stabili o delimitare clară între oboseala psihologică, fizică sau profesională, ceea ce îngreunează studiul lor complex prin metodele fiziologiei și psihofiziologiei [6, p. 208]. Pentru detectarea semnelor timpurii ale neurodegenerării se caută indicatori moleculari, celulari și tisulari. O astfel de abordare trebuie să asigure o evaluare sistematizată a gradului de adaptabilitate, stresogenicitate sau potențială patogenitate a încărcăturii cognitive, psihoemoționale și motorii resimțite de individ. Tocmai starea de oboseală a stat la baza concepției care analizează consecințele activității cotidiene asupra organismului în ansamblu și asupra aparatului senzorio-motor în special – fie că este vorba de activitate într-o instituție de învățământ, la locul de muncă sau în serviciu, în producție, în sport, mai ales în condiții de mediu potențial periculoase. Programul inovator de creștere a capacităților de învățare și perfecționare profesională începe cu stimularea eficientă a schimbului de gaze, echilibrarea metabolismului energetic și plastic în centrele nervoase și în aparatul locomotor prin antrenament adaptogen periodic, hipoxic și aerobic. Antrenamentul sistemului de termoreglare, în combinație cu antrenamentele pentru schimbul de gaze, asigură un efect stimulator puternic asupra aprovizionarii sangvine a țesuturilor care funcționează activ, datorită intensificării activității de pompare a inimii și facilitării angiogenezei, precum și îmbunătățirii aportului energetic și trofic al acestora.

În program propus este integrată utilizarea unor dispozitive tehnice de măsurare mobile și compacte, care permit efectuarea unui screening al activității și repausului (recreerii) zilnice. Dispozitivele permit, de asemenea, evaluarea calității somnului de recuperare, a procentului de episoade de somn superficial și profund, a perioadelor de trezire și a stărilor de veghe forțată în timpul somnului. Concepția se bazează pe premisa că desincronizarea circadiană forțată este resimțită de elevi, studenți, muncitori și angajați care își desfășoară activitatea în regim de ture, în cadrul unui program de lucru sau de serviciu desfășurat pe parcursul întregii zile. Menținerea, recuperarea și perfecționarea abilităților profesionale în activitatea educațională, profesională și de serviciu pot fi asigurate printr-un program de așa-numită terapie prin muncă. Terapia prin muncă sau terapie ocupaţională reprezintă un domeniu interdisciplinar al științelor biomecanice, biomedicale și medicale, cu potențial unic, care poate fi aplicat cu succes în procesul educațional în cadrul pregătirii profesionale. Metodele terapiei prin muncă permit corectarea stărilor funcționale la copiii și adolescenții cu dizabilități, asigurând participarea lor deplină în diverse situații sociale, adică educația incluzivă. Mai mult, cursurile de terapie prin muncă pot fi aplicate cu succes în reabilitarea după traumatisme, dezastre, accidente și în îngrijirea persoanelor în vârstă, care au suferit o scădere semnificativă a capacității cognitive și fizice de muncă, ca urmare a slăbirii integrării senzorio-motorii. „Mama" terapiei ocupaţionale este considerată doctorița Eleonora Clark Slagle (Eleanor Clarke Slagle, 1870-1942), care a fost una dintre fondatoarele Societății Naționale pentru Dezvoltarea și Promovarea Terapiei prin Muncă [7, p. 1]. În perioada dintre 1860

și 1910 s-a dezvoltat Mișcarea internațională „Arts and Crafts" („Mișcarea artelor și meseriilor"), care a avut o influență semnificativă asupra formării și dezvoltării terapiei prin muncă. „Mișcarea artelor și meseriilor" promova și încuraja învățarea prin practică muncitorească (producție) [7 p. 3, 8, p. 1].

În 1961, doctorița Mary Reilly (1916–2012) susținea că terapia prin muncă poate fi considerată cea mai mare idee a medicinei secolului al XX-lea [8, p. 1]. Acest lucru este demonstrat fundamental prin faptul că tehnologiile dezvoltării coordonării fine a actelor motorii, bazate pe integrarea senzorio-motorie, sunt aplicabile atât în activitatea educațională, cât și în modelele de tratament utilizate pentru o gamă largă de grupuri de clienți și pacienți. Aceste tehnologii trebuie implementate în practică împreună cu un screening de laborator sistematic al stării funcționale a modulației senzoriale, integrării senzoriale, deficitului neuromotor și psihosocial la indivizii care sunt supuși unor sarcini crescute în activitățile lor cotidiene educaționale, profesionale și de serviciu. Metodele terapiei prin muncă sau ale instruirii profesionale a indivizilor cu tulburări ale procesării senzoriale și integrării senzorio-motorii pot fi bazate pe principiile formulate în conceptul de „Integrare senzorială" („Ayres Sensory Integration") [9, p. 1].

Totuși, procedurile concrete respectând aceste principii pot varia foarte mult în funcție de anamneza individuală, asigurând o abordare personalizată. Aceste principii includ: 1 – intervenție terapeutică; 2 – acomodare și adaptare; 3 – program de dietă senzorială; 4 – modificări și adaptări ale mediului înconjurător; și 5 – educație [9, p. 2]. „Intervenția terapeutică" se bazează pe aplicarea corecțiilor senzoriale și motorii, orientate spre creșterea capacităților tactile, proprioceptive și neuromotorii, abilităților de planificare a acțiunilor și luare a deciziilor, organizarea timpului și spațiului, integrarea bilaterală, dobândirea și consolidarea abilităților posturo-oculare, precum și adaptabilitatea la eforturi fizice intense [9, p. 2]. „Acomodarea și adaptarea" se realizează prin utilizarea mijloacelor de protecție care modifică percepția senzorială, prin proceduri de creștere a sensibilității și îmbunătățire a concentrării atenției, autoreglării și autoorganizării, fiind orientate spre creșterea eficienței și productivității activității educaționale, profesionale și de serviciu [9, p. 3]. „Programul de dietă senzorială" se bazează pe construirea bioritmică a programului zilnic, asociat cu implementarea unui plan (meniul) de stimulări multisenzoriale individualizate de susținere sau deprivări, utilizând echipamente (seturi senzoriale, mingi antistres, pătură cu greutate, obiecte pentru distragerea atenției pe fundal muzical). Un astfel de meniu senzorial este utilizat pe parcursul zilei, după necesitate, pentru a asigura modularea senzorială (proprioceptivă, vizuală, auditivă) și deprivarea stimulilor asociați cu modificări nefavorabile ale stării emoționale și comportamentului, cu anxietate crescută, depresie, în scopul modificării adecvate a modelului de procesare a informației senzoriale, minimizării escaladării crizei și, în general, pentru a sprijini reabilitarea și recuperarea [9, p. 3].

„Modificările și adaptările mediului înconjurător" se bazează pe selectarea stimulărilor senzoriale vizuale (iluminat); utilizarea echipamentelor care emit zgomot alb; decorarea pereților, mobilierului și alte metode pentru creșterea sau reducerea încărcă-

turii senzoriale generate de spațiul înconjurător în sălile de clasă sau la locul de muncă. În unele cazuri, se folosesc camere senzoriale, stații senzoriale sau cărucioare senzoriale [9, p. 4].

Dezvoltarea tehnologiilor educaționale este necesară nu doar pentru elevi și studenți, ci și pentru muncitori, angajați, membrii familiilor acestora, persoanele care se ocupă de îngrijirea pacienților, precum și pentru manageri (administratori) care stabilesc politica socială [9]. Inovația trebuie să fie orientată spre consolidarea integrării senzorio-motorii în cadrul perfecționării anumitor operații de muncă, funcțiilor mintale și fizice. În cadrul activității educaționale este necesar să se țină cont că, pentru dezvoltarea sustenabilă a unei țări industrializate, nu este important doar dezvoltarea resursei umane, ci și interacțiunea armonioasă a factorului uman cu infrastructura de producție în dezvoltare, de exemplu cu robotica, aplicabilă și în tratament și reabilitare. De exemplu, în unele fabrici Toyota, noii muncitori nu sunt instruiți mai întâi să execute operațiunea de producție sau să încarce materialele necesare, ci, în primul rând, petrec săptămâni și chiar luni exersând manual actele motorii pe care robotul le execută mult mai rapid. Această metodă de creștere a productivității este aplicată pentru îmbunătățire semnificativă a calităților profesionale ale muncitorilor prin percepţia procesul de transformare a materialelor în piese, iar a pieselor în mașini asamblate. Angajaţii astfel învață mai bine să prețuiască materialele folosite și să imagineze mai profund procesele de interacțiune a materialelor cu diverse echipamente tehnologice. Mai mult, procesul de învățare a asamblării mașinilor, fie manual, dezvoltă și consolidează la indivizi calități profesionale precum imaginația, abordarea creativă, capacitatea de a găsi soluții corecte pentru probleme și spiritul de experimentare [10, p. 20]. Calificările și capacitățile profesionale ale angajaților lor, ținând cont de tendința generală de dezvoltare a tehnologiilor și de întârzierea adaptării resurselor umane la capacitățile de producție. Managerii companiilor competitive sunt convinși că prezența profesioniștilor și capacitatea lor de muncă reprezintă cheia succesului în afaceri [10, p. 20, 11, p. 868]. De aceea, sunt strict necesare investiții în inovarea tehnologiilor educaționale, care să garanteze abilități profesionale înalte și capacitatea de a interacționa cu dispozitive automatizate și software.

CONCLUZII

Elaborarea conceptelor și implementarea inovațiilor în tehnologiile educaționale, axate pe creșterea potențialului resursei umane, formează fundamentul pentru investițiile economice și multiplicarea capitalului uman, ceea ce este esențial pentru încheierea unor acorduri simbiotice, organizarea unei producții perfecte și, drept consecință, pentru dezvoltarea economiei naționale. Consolidarea integrării senzorio-motorii în timpul executării operațiilor de muncă asigură creșterea capacităților educaționale și profesionale bine dezvoltate în asociere cu creșterea calității și fiabilității, o viteză ridicată și productivitate mai mare, cu consumuri energetice reduse.

Dezvoltarea inovărilor în tehnologiile educaționale poate fi realizată pe baza elaborării programelor de cercetare și dezvoltare (R&D) modernizate; implementării educației

duale; și a unei colaborări strânse între instituțiile educaționale și marile companii sau instituții, care au o importanță primordială pentru satisfacerea nevoilor sectoriale și guvernamentale.

REFERINȚE:

1. BUCHANAN, A. Moral Status and Human Enhancement. În: *Philosophy & Public Affairs*. 2009. nr.37, vol.4, p.346-381.
2. AZEVEDO, Marco Antonio. Human Enhancement: A new issue in philosophical agenda. În: *Princípios*. 2013. nr.20, vol.33, p.265-304.
3. World Health Organization: official site. Geneva. Disponibil: https://www.who.int/3by5/en/ (Accesat: 28.11.2020).
4. KIM, S.M. Balance deficit and brain connectivity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. În: *Psychiatry Investig*. 2017. nr.14, vol.4, p.452–457.
5. Brain Balance Programs. Result & Research. Brain Balance Achievement Centers. 2019. P. 36. Disponibil: https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/3798961/BB_ResearchPamphlet_REVFinal_WEB.pdf (Accesat: 02.02.2021).
6. MOROSAN-DANILA, L., BORDEIANU O. Work capacity and fatigue relation in employees activity. În: *Revista Economică*. 2012. nr.2, p.201-211.
7. KIELHOFNER, G. *Conceptual foundations of occupational therapy practice*. Philadelphia, PA: F.A. Davis Company, 2009.
8. CASE-SMITH, J. *Occupational Therapy for Children*. Maryland Heights, MO: Mosby/Elsevier. 2010.
9. Sensory Integration Global Network. Ayres Sensory Integration. Disponibil: http://www.siglobalnetwork.org/ayres-sensory-integration (Accesat: 23.10.2024)
10. HAGEL, J. *Skills change, but capabilities endure. Why fostering human capabilities first might be more important than reskilling in the future of work. A report from the Deloitte Center for the Edge*. Deloitte Development LLC. 2019. p.20.
11. EBHOTA, W. Human Capacity Building in Manufacturing Sector: A Factor to Industrial Growth in Nigeria. În: *International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering*. 2014. nr.8, vol.3, p.865-870.

POTENȚIALUL HEMATOPROTECTIV AL UNOR PLANTE MEDICINALE ÎN CONTEXTUL DIABETULUI EXPERIMENTAL

HEMATOPROTECTIVE POTENTIAL OF SELECTED MEDICINAL PLANTS IN EXPERIMENTAL DIABETES

CZU: 615.322:633.88:616.379-008.64 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.29**

Elena CHIRIȚA
ORCID: 0000-0002-9717-8133
E-mail: chiritaelena30@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor MELNIC
ORCID: 0000-0001-6374-2499
E-mail: victor.melnic@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Aurelia CRIVOI
ORCID: 0000-0002-1917-1278
E-mail: crivoi.aurelia@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Iurie BACALOV
ORCID: 0000-0002-1651-9056
E-mail: iurie.bacalov@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Adriana DRUȚA
ORCID:0000-0002-5961-6518
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This study investigates the hematological effects of four medicinal plant extracts–grapevine leaves, mulberry leaves, walnut leaves, and walnut epicarp–in experimental diabetes induced by alloxan. Experimental groups included a control group, a group with induced diabetes, a group treated only with plants, and a group treated with both alloxan and plants. The research focused on key hematological parameters: erythrocyte count, hemoglobin level, hematocrit, and mean corpuscular volume. Results indicated that plant administration mitigated the hematological alterations caused by diabetes. The most significant improvements were observed in the group receiving both alloxan and plant treatment, suggesting a potential hematoprotective effect of the phytocomplex.*

Keywords: *experimental diabetes, erythrocytes, hemoglobin, medicinal plants.*

INTRODUCERE

Diabetul zaharat este una dintre cele mai răspândite boli cronice netransmisibile, având un impact major asupra sănătății publice la nivel global [1]. Această afecțiune este caracterizată printr-un dezechilibru al metabolismului glucidic, ce conduce la creșterea anormală a concentrației de glucoză în sânge (hiperglicemie), însoțită de disfuncții multiple la nivelul diferitelor organe și sisteme. Printre aceste disfuncții, modificările hematologice ocupă un loc important, întrucât influențează capacitatea organismului de a transporta oxigenul, de a menține homeostazia și de a răspunde la inflamații sau infecții [2].

Printre indicatorii hematologici afectați frecvent în diabet se numără scăderea numărului de eritrocite, reducerea concentrației hemoglobinei și modificarea volumului mediu eritrocitar (MCV), care pot fi asociate cu apariția anemiei. Aceste modificări se produc ca urmare a efectelor toxice ale hiperglicemiei cronice asupra celulelor stem hematopoietice, dar și din cauza stresului oxidativ crescut și inflamației sistemice caracteristice diabetului. În plus, tratamentele convenționale, precum insulina sau medicamentele antidiabetice orale, nu vizează în mod direct aceste dereglări hematologice, ceea ce justifică necesitatea unor abordări complementare.

În ultimii ani, fitoterapia a devenit un domeniu de interes tot mai mare pentru cercetători, în special în contextul bolilor metabolice. Plantele medicinale sunt surse valoroase de principii active naturale, care au demonstrat proprietăți hipoglicemiante, antioxidante, antiinflamatoare și protectoare asupra țesuturilor [3]. Printre aceste plante se regăsesc: vița de vie (Vitis vinifera), cunoscută pentru conținutul ridicat de resveratrol și flavonoide; agudul (Morus alba), cu efecte hipoglicemiante și insulino-mimetice; frunzele de nuc (Juglans regia), bogate în taninuri și polifenoli cu acțiune antiinflamatoare; și epicarpiul de nucă, cu proprietăți antioxidante semnificative. Utilizarea combinată a acestor plante poate produce un efect sinergic, contribuind la ameliorarea tulburărilor metabolice și hematologice asociate diabetului [4].

Scopul principal al acestei cercetări a fost evaluarea influenței extractului obținut din plantele menționate asupra unor parametri hematologici modificați în cadrul diabetului zaharat indus experimental cu alloxan. Modelul experimental utilizat, care implică administrarea de alloxan pentru inducerea diabetului la animale de laborator, este unul bine stabilit și permite reproducerea condițiilor patologice similare cu cele din diabetul de tip 1. Prin intermediul acestui model s-a urmărit dacă administrarea extractului vegetal are un efect protector sau restaurativ asupra numărului de eritrocite, concentrației hemoglobinei, hematocritului și volumului eritrocitar mediu.

Astfel de cercetări sunt relevante nu doar pentru validarea activității biologice a extractelor vegetale, ci și pentru conturarea unor noi direcții terapeutice complementare în tratamentul diabetului zaharat. Dacă aceste efecte sunt confirmate și prin studii suplimentare, preparatele pe bază de plante medicinale ar putea reprezenta o soluție accesibilă, cu risc scăzut de efecte adverse și cu beneficii multiple asupra stării generale

de sănătate a persoanelor cu diabet. De asemenea, utilizarea acestora ar putea contribui la reducerea dependenței de medicamentele de sinteză și la o mai bună calitate a vieții pacienților.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru realizarea acestui studiu experimental s-au utilizat șobolani albi de laborator, cu o greutate medie de 180–220 g. Animalele au fost ținute în condiții standard de laborator, cu acces liber la hrană și apă, într-un regim de lumină/întuneric de 12 ore, și au fost aclimatizate timp de o săptămână înainte de începerea experimentului. Plantele au fost colectate, uscate și administrate sub formă de infuzii apoase. Parametrii hematologici analizați au fost: eritrocitele, hemoglobina, hematocritul și volumul mediu eritrocitar (MCV), utilizând un analizor hematologic automat. Modelul diabetului zaharat a fost obținut prin injectarea alloxanului sub forma de soluție de 5 % (200 mg/kg), iar fitopreperatul a fost administrat oral în doză de 1,5 ml per șobolan/24 h. Rezultatele au fost obținute prin analize de laborator precum: testarea glucozei în sânge cu ajutorul glucometrului „On Call Plus"; testarea hormonilor - prin metoda imunofermentativă, la analizatorul Stat Fax 4700. Toate procedurile experimentale au fost realizate în conformitate cu normele etice pentru cercetarea pe animale de laborator, aprobate de comisia bioetică a instituției.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Diabetul zaharat de tip I și II are etiologii diferite, dar ambele implică dereglări ale metabolismului glucidic, care au ca efect alterări sistemice. Hematopoieza este sensibilă la stresul oxidativ și inflamație cronică, fenomene caracteristice diabetului. Literatura de specialitate indică existența unor modificări în morfologia și funcționalitatea eritrocitelor la pacienții diabetici [5]. În acest context, fitoterapia câștigă teren ca soluție complementară în gestionarea complicațiilor asociate diabetului zaharat. Plantele studiate în această lucrare sunt cunoscute pentru conținutul lor bogat în flavonoide, taninuri și acizi fenolici, compuși cu potențial antioxidant semnificativ.

În urma administrării extractului vegetal și a inducției diabetului experimental, au fost înregistrate modificări semnificative ale parametrilor hematologici analizați. Valorile medii obținute pentru fiecare grup sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Efectul plantelor medicinale asupra indicilor hematologici în diabetul experimental.

Indici	Martor	Alloxan	Plante	Plante + Alloxan
Eritrocite (10^{12}/l)	6,49±0,11	5,30±0,23	6,63±0,21	5,91±0,17
Hemoglobină (g/l)	125,3±0,02	97,2±0,06	116,1±0,18	104,9±0,14
Hematocrit (%)	36,1±0,09	33,8±0,03	35,1±0,13	34,3±0,21
Volum eritrocitar mediu (fl)	50,2±0,17	46,3±0,27	51,4±0,21	49,8±0,17

În rezultatul cercetărilor s-a evidențiat modificări semnificative ale parametrilor hematologici înregistrate în urma tratamentelor aplicate în cele patru grupuri experimentale. Grupul Alloxan, care a primit doar substanța diabetogenă, prezintă scăderi ale eritrocitelor (5,30±0,23 $\times 10^{12}$/l), hemoglobinei (97,2±0,06 g/l) și hematocritului (33,8±0,03 %), ceea ce sugerează apariția unei anemii moderate ca urmare a stresului oxidativ generat de hiperglicemie. Valorile reduse ale MCV (46,3±0,27 fl) indică o posibilă formă microcitară de anemie, caracterizată printr-o capacitate redusă a eritrocitelor de a transporta oxigenul.

În contrast, grupul la care s-a administrat extracte vegetale fără inducerea diabetului a prezentat o ușoară creștere a tuturor indicilor analizați față de martor. Numărul de eritrocite (6,63±0,21 $\times 10^{12}$/L), concentrația hemoglobinei (116,1±0,18 g/l) și valoarea MCV (51,4±0,21 fl) au fost mai mari, ceea ce indică un posibil efect stimulativ asupra eritropoiezei, posibil prin aportul de antioxidanți și micronutrienți esențiali din plante.

Plantele testate au acționat favorabil asupra restaurării parametrilor hematologici, efect atribuit compușilor cu acțiune antioxidativă și adaptogenă. În literatura științifică, frunza de viță de vie este recunoscută pentru efectele sale tonice asupra sângelui, iar frunza de agud este adesea asociată cu reglarea glicemiei. Frunza și epicarpul de nuc prezintă efecte antimicrobiene și antiinflamatoare, ceea ce ar putea contribui la ameliorarea stării generale a organismului diabetic [6]. Grupul Plante + Alloxan, care a primit concomitent alloxan și extractul vegetal, a manifestat valori intermediare între grupurile Alloxan și Martor, confirmând ipoteza unui efect protector parțial al fitopreparatului. De exemplu, numărul eritrocitelor a crescut de la 5,30±0,23 în lotul Alloxan la 5,91±0,17 $\times 10^{12}$/l la lotul mixt, iar hemoglobina de la 97,2±0,06 la 104,9±0,14 g/l. Această ameliorare poate fi atribuită acțiunii antioxidante a compușilor fenolici, flavonoidelor și taninurilor din plante, care pot reduce peroxidarea lipidică, stabilizează membranele celulare și susțin funcția măduvei osoase hematopoietice.

Studiile anterioare au demonstrat că flavonoidele, precum quercetina și resveratrolul, pot modula expresia genelor implicate în hematopoieză și pot stimula regenerarea celulelor stem. De asemenea, compușii antiinflamatori din plantele analizate pot reduce nivelul citokinelor proinflamatorii (TNF-α, IL-6), contribuind astfel la reducerea distrugerii eritrocitare în condiții de hiperglicemie cronică [7].

Aceste rezultate susțin ideea că utilizarea preparatelor vegetale în contextul diabetului zaharat poate avea beneficii nu doar asupra metabolismului glucidic, ci și asupra sistemului hematologic. Având în vedere că anemia este o comorbiditate frecventă la pacienții cu diabet, prevenirea și corectarea ei prin mijloace naturale reprezintă o direcție valoroasă de cercetare [8].

Este important de menționat că acest studiu este unul preliminar, iar validarea rezultatelor necesită extinderea cercetărilor pe un număr mai mare de animale, inclusiv testarea dozelor variate și analizarea parametrilor biochimici asociați. Totodată, ar fi utilă investigarea histologică a țesuturilor hematopoietice, precum și monitorizarea pe termen

lung a răspunsurilor fiziologice după întreruperea tratamentului. Eritrocitele și hemoglobina au crescut sub influența tratamentului vegetal, susținând ipoteza că fitocompușii din frunzele și epicarpele utilizate contribuie la protecția celulelor roșii și stimulează sinteza eritrocitară. Volumul eritrocitar mediu a fost de asemenea ameliorat, sugerând un impact benefic asupra morfologiei eritrocitare.

CONCLUZII

Studiul de față a demonstrat că administrarea fitopreparatului compus din frunze de viță de vie, agud, nuc și epicarp de nucă are un efect benefic asupra unor indici hematologici afectați în contextul diabetului zaharat experimental. Parametrii analizați (eritrocite, hemoglobină, hematocrit și MCV) au evidențiat perturbări semnificative în cazul animalelor cu diabet experimental, indicând prezența unei anemii cu caracter hipocrom și microcitar.

Administrarea extractului vegetal a determinat o ameliorare parțială a acestor modificări, sugerând un potențial efect protector și restaurator asupra sistemului hematopoietic. Efectele observate pot fi corelate cu activitatea antioxidantă și antiinflamatoare a compușilor bioactivi prezenți în plantele utilizate. Aceste rezultate susțin utilizarea fitoterapiei ca adjuvantă în tratamentele moderne ale diabetului zaharat, în special în scopul reducerii complicațiilor hematologice. Totodată, se impune necesitatea extinderii cercetării pentru identificarea mecanismelor moleculare implicate și evaluarea siguranței și eficacității pe termen lung a preparatelor vegetale testate.

Deci, extractele vegetale testate pot reprezenta o alternativă promițătoare în strategiile de prevenție și tratament integrativ al diabetului zaharat, cu efecte benefice asupra echilibrului hematologic al organismului.

REFERINȚE:

1. WHO. Global Report on Diabetes. Geneva: World Health Organization, 2016. Disponibil: https://www.who.int/publications/i/item/9789241565257 [Accesat: 28.05.2025].
2. GHEORGHIU, A. et al. Modificări hematologice în diabetul zaharat experimental. Revista Română de Fiziopatologie, 2020, 27(2), p. 34-40.
3. STĂNILĂ, A. et al. Plante medicinale utilizate în tratamentul diabetului. Farmacia, 2019, 67(1), p. 5-10.
4. MOHAN, V., SRINIVASAN, S. Flavonoids and their role in erythropoiesis. In: Journal of Hematologic Research, 2018, vol. 11, p. 120-130. DOI: 10.1016/j.jhr.2018.03.002.
5. POPESCU, D., MARINESCU, A. Rolul flavonoidelor în protecția celulelor hematopoietice. În: Revista Română de Medicină, 2020, nr. 2, p. 45-52. ISSN 1582-1021.

6. IONESCU, R., STAN, M. Efectele antidiabetice ale unor extracte vegetale autohtone. În: Fitoterapie și Cercetare, 2021, vol. 7, nr. 1, p. 33-40. ISSN 2344-2172.
7. RĂDULESCU, F. et al. Efectul antidiabetic al unor extracte vegetale. În: Congresul Național de Fitoterapie, 2022, București, România.
8. BĂLĂNESCU, Șt. et al. Fitoterapia în bolile metabolice. București: Editura Medicală, 2019. 204 p. ISBN 978-606-25-0345-7.

N.B. *Această cercetare a fost realizată cu sprijinul proiectului de cercetare subproiectul 010102 „Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru valorificarea în economia circulară”, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare (ANCD).*

CUNOAȘTEREA ȘI PERCEPȚIA RISCURILOR ASOCIATE RADIAȚIILOR IONIZANTE, CAUZATE DE RADON ÎN RÂNDUL POPULAȚIEI ADULTE DIN REPUBLICA MOLDOVA

KNOWLEDGE AND PERCEPTION OF THE RISKS ASSOCIATED WITH IONIZING RADIATION CAUSED BY RADON AMONG THE ADULT POPULATION OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 546.296:614.876(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.30**

Liuba COREȚCHI
ORCID: 0000-0001-5758-3831
E-mail: liuba.koretski@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Ala OVERCENCO
ORCID: 0000-0002-6970-9216
E-mail: ala.overcenco@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Angela CAPAȚÎNA
ORCID: 0000-0001-7074-3334
E-mail: angela.capatina@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Aurelia ABABII
ORCID: 0000-0002-9481-5993
E-mail: aurelia.ababii@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Marina BOGDAN
ORCID: 0009-0003-8494-5537
E-mail: marina.bogdan @ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Parascovia ROMANCIUC
ORCID: 0000-0002-6620-1767
E-mail: parascovia.romanciuc@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Valentina CHIȘLARI
ORCID: 0009-0001-7674-4124
E-mail: valentina.chislari@ansp.gov.md
Centrul pentru Sănătate Publică, Bălți, Republica Moldova

Svetlana BRUMĂ
ORCID: 0009-0005-9507-3927
E-mail: svetlana.bruma@ansp.gov.md
Centrul pentru Sănătate Publică, Cahul, Republica Moldova

Summary. *Knowledge and perception of the risks associated with ionizing radiation caused by radon among the adult population of the Republic of Moldova. Radon is a naturally occurring radioactive gas, responsible for most of the population's exposure to ionizing radiation. Although its health effects, especially the risk of lung cancer, are well documented, public awareness remains low in many regions. As part of the STEAM project, an opinion poll was conducted in the Republic of Moldova to assess the level of knowledge, risk perception and attitudes of the population towards radon. The results show that over 75% of respondents know nothing or know very little about radon, and perceptions of risks are often influenced by myths or incorrect information. However, most respondents consider it important to test homes, even if they do not know how to do it. The survey highlights the urgent need for well-structured information campaigns, using trusted sources such as family doctors and public health institutions. Effective communication of radon risks is essential for the protection of public health.*

Keywords: *radon exposure, public opinion, risk perception, health awareness.*

INTRODUCERE

Radonul, un gaz radioactiv natural, este recunoscut ca fiind cea mai semnificativă sursă de expunere naturală la radiații pentru populația generală la nivel mondial și este a doua cauză principală, care provoacă cancerul bronhopulmonar după fumat, în special în rândul nefumătorilor [1, 2]. În ciuda impactului său dovedit asupra sănătății, gradul de conștientizare a publicului cu privire la radon și riscurile asociate a acestuia asupra sănătății rămâne extrem de scăzut în multe țări. Această diferență reprezintă o provocare considerabilă pentru sistemele de sănătate publică care urmăresc să implementeze strategii eficiente de reducere a riscului de radon, inclusiv promovarea testării la domiciliu și adoptarea de măsuri de atenuare [3–5].

În ultimii ani, organizațiile internaționale, precum Agenția Internațională pentru Energie Atomică (AIEA) și Organizația Mondială a Sănătății (OMS) au subliniat necesitatea dezvoltării și implementării unor programe naționale privind radonul. Aceste programe vizează sporirea capacității țărilor de a evalua, comunica și reduce riscurile de expunere pe termen lung la radon în locuințe și la locul de muncă prin sondaje cuprinzătoare, campanii de comunicare specifice și implicarea părților interesate [6].

Studiile privind percepția riscului de radon, efectuate în Bulgaria, Albania și Federația Rusă ca parte a Proiectului de Cooperare Tehnică RER9153 al AIEA, au de-

monstrat o lipsă generalizată de cunoștințe publice cu privire la radon. De exemplu, în Bulgaria, 78% dintre adulți au raportat că știu puțin sau nimic despre riscurile pentru sănătate asociate cu expunerea la radon [4]. În mod similar, în Albania, mai mult de jumătate dintre respondenți nu aveau cunoștințe elementare despre radon și impactul său potențial asupra sănătății [7], iar în Federația Rusă, aproximativ o treime dintre participanți nu auziseră deloc de radon, chiar și după expunerea la conținut informativ [3]. Aceste constatări subliniază necesitatea dezvoltării strategiilor îmbunătățite de comunicare a riscurilor, adaptate diferitelor grupuri socio-demografice.

În acest context, Republica Moldova a realizat un sondaj național de opinie publică în cadrul aceluiași cadru STEAM (Sondaj Social al Opiniei Publice privind Radonul și Percepția Riscului). Scopul a fost de a evalua gradul de conștientizare al populației din Republica Moldova cu privire la radon, percepțiile acesteia asupra riscurilor pentru sănătate, disponibilitatea de a efectua măsurători ale radonului și încrederea acordată diverselor surse de informații privind sănătatea. Rezultatele studiului vor contribui la dezvoltarea unui Plan național de acțiune privind controlul radonului și a unei strategii specifice de comunicare a riscurilor, aliniată cu cele mai bune practici regionale și recomandări internaționale.

MATERIAL ȘI METODE

Sondajul de opinie a fost realizat în perioada decembrie 2020 – februarie 2021, utilizând un chestionar standardizat, adaptat pentru contextul local și tradus în limba română. Eșantionul a inclus 391 de respondenți adulți din 20 de raioane și două municipii. Distribuția a fost aleatorie, iar datele au fost colectate online, prin intermediul centrelor de sănătate publică regionale. Chestionarul a conținut 34 de întrebări despre date demografice, starea generală de sănătate, cunoștințe despre radon, percepția riscurilor și sursele de informare. Răspunsurile au fost codificate pe o scală Likert.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele au arătat un nivel redus de cunoaștere a radonului de către populației. Gradul general de conștientizare a radonului și a riscului pentru sănătate care decurge din expunerea la radon s-a dovedit a fi destul de scăzut: 46,6% recunosc că nu știu nimic sau foarte puțin despre radon; 48,6% nu știu nimic sau foarte puțin despre riscurile pentru sănătate ale radiațiilor radonului. Răspunsurile respondenților la fiecare dintre întrebări sunt reflectate în Tabelul 1. La întrebarea „Ce cunoașteți despre radon?”, din toate răspunsurile la sondaj, 23,5% dintre aceștia aveau cunoștințe (destul de mult) despre radon. La întrebarea „Cât de mult credeți că știți despre riscul pentru sănătate cauzat de expunerea la radon?”. Din toate răspunsurile la sondaj, 23,8% dintre aceștia aveau cunoștințe despre riscul care decurge din expunerea la radon, iar 1% au preferat să nu răspundă la întrebare.

Tabelul 1. Nivelul de cunoaștere al respondenților despre radon și riscurile asociate

Nivel de cunoaștere	Despre radon (%)	Despre riscuri asociate de radon (%)
Nimic	18,2	20,2
Foarte puțin	28,4	28,4
Ceva informații	28,9	27,6
Destul de mult	13,0	13,6
Foarte mult	10,5	10,2
Nu răspund	1,0	0,0

Rezultatele studiului denotă că există o lacună mare în cunoștințele despre radon când vine vorba de modul de testare a locuinței pentru radon (Fig. 1). Mai mult de jumătate din populație nu știe cum se măsoară radonul în locuințe. Doar o treime dintre respondenți au raportat că testarea radonului este ușoară, dar 10% dintre moldoveni consideră că este o procedură complicată.

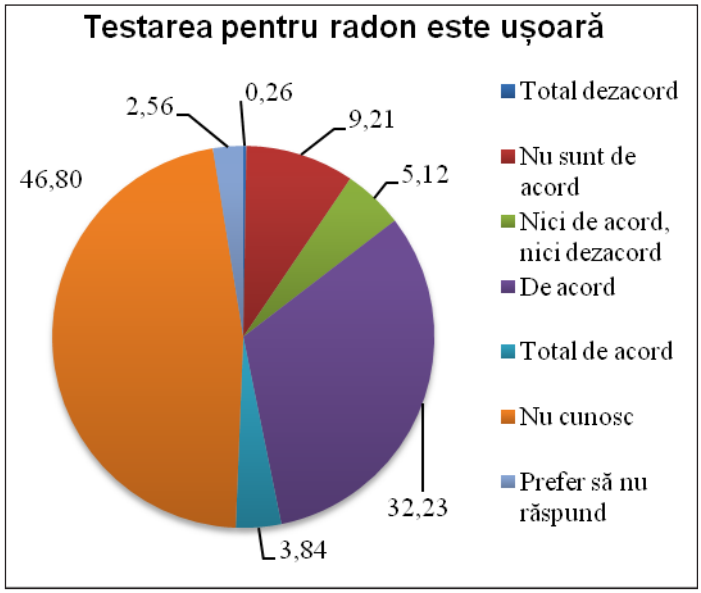


Figura 1. Evaluarea respondenților despre testarea locuinței la radon, %

Pentru a înțelege atitudinile lor față de radon, respondenților li s-au prezentat diverse afirmații și li s-a cerut să evalueze măsura în care sunt de acord cu acestea. Peste 30% consideră că nu este nevoie să își testeze locuința pentru radon, deoarece își ventilează bine locuințele, în timp ce peste 40% consideră că ventilația este insuficientă și că nivelurile de radon din locuințele lor ar trebui testate. Marea majoritate (peste 70%) ar lua imediat măsuri pentru a reduce nivelurile de radon din locuințele lor, iar același număr de respondenți consideră astfel de acțiuni o prioritate față de alte riscuri pentru sănătate

din locuințele lor. Cu toate acestea, aproximativ 30% din intervievați, nu și-ar permite să ia măsuri pentru a reduce nivelurile de radon din locuința lor timp de 5 (cinci) ani, o altă treime ar lua măsuri imediat, iar ultima treime nu a decis dacă merită efortul și cheltuielile pentru a reduce nivelurile de radon din locuința lor acum sau mai târziu (răspunsul a fost „Nu știu"). Aproximativ 60% dintre respondenți nu pot decide independent cu privire la măsurile de reducere a nivelurilor de radon din locuința în care locuiesc.

Astfel, analizând răspunsurile despre acțiunile pe care oamenii le vor întreprinde pentru a reduce nivelurile de radon, putem spune următoarele:

- O treime dintre locuitori nu și-ar testa locuința pentru radiații cauzate de radon;
- Majoritatea respondenților ar lua măsuri în cazul unor niveluri ridicate de radon în locuința lor;
- Mai mult de jumătate din populație a recunoscut că decizia de a lua măsuri pentru a reduce nivelul de radon din locuința lor nu depinde în totalitate de ei;
- Majoritatea populației a fost de acord că testarea locuinței pentru radon este o prioritate pentru ei, dar mai puțin de o treime din jumătatea populației a declarat că testarea pentru radon este ușoară;
- Aproximativ 30% din populația adultă din Republica Moldova consideră că nu are rost să testeze locuința în care locuiește pentru radiații cauzate de radon, deoarece mențin întotdeauna o bună ventilație; iar 10% ezită în privința acestei probleme – nu sunt nici de acord, nici în dezacord cu această opinie.

Figura 2 descrie atitudinea respondenților față de testarea locuințelor. Peste 70% dintre aceștia ar acționa pentru reducerea nivelului de radon, dar aproape 30% consideră că ventilarea este suficientă, iar un procent similar nu ar lua măsuri sau sunt indecișii. Acest comportament reflectă o percepție superficială a riscului și lipsa informației aplicabile.

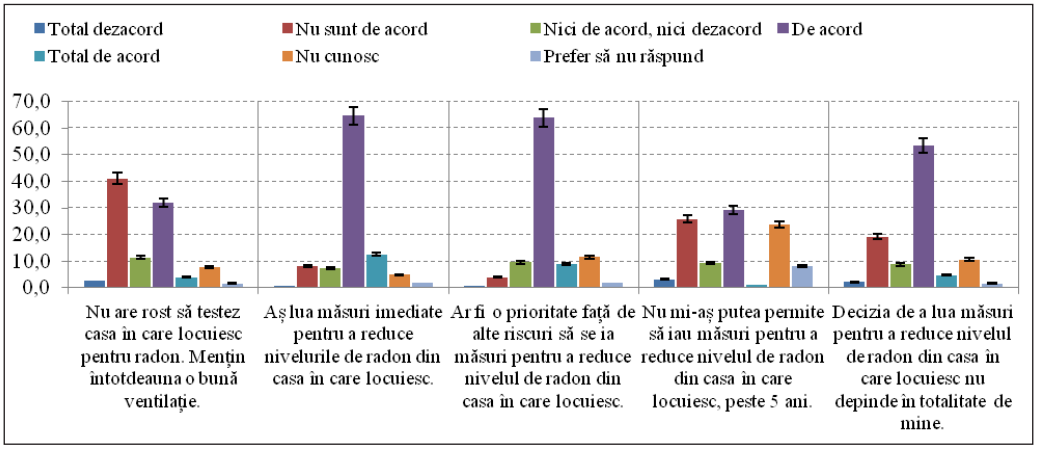


Figura 2. Evaluarea respondenților cu privire la acțiunile pe care le-ar întreprinde pentru a reduce nivelurile de radon, %

Sondajul a constatat o mică diferență între percepția radonului la nivel personal și public. Tabelul 2 prezintă date comparative privind percepția radonului printre alte riscuri legate de radiații la nivel personal și public. Respondenții au considerat că cel mai mare risc pentru sănătatea lor prezintă radiațiile ionizante, provenite de la centralele/ reactoarele nucleare (77,8%), dar pentru populație în ansamblu, cel mai mare risc îl reprezintă zonele cu radioactivitate ridicată (de exemplu, în vecinătatea unei mine de uraniu). Problema radonului a fost percepută de respondenți, după ce au primit informații despre radon în timpul sondajului, ca fiind al patrulea cel mai periculos dintre alte riscuri legate de radiații, după centralele nucleare naturale, zonele cu radioactivitate ridicată și radioactivitatea naturală din alimente și apa potabilă. Trebuie menționat că pentru mai mult de două treimi dintre respondenți (68,5% pentru riscul personal, 72,9% pentru riscul public), riscul reprezentat de radon este „moderat", „scăzut" sau „absent", iar doar pentru 20,7% pentru riscul personal, 17,9% pentru riscul public este „ridicat" sau „foarte ridicat".

Tabelul 2. Percepția populației privind riscul expunerii la radon în locuințe

Radon ca factor de risc	**Răspunsuri (%)**	
	Risc personal	**Risc public**
Considerat risc ridicat	20,7	17,9
Considerat risc moderat	33,8	36,8
Considerat risc redus sau inexistent	34,8	36,1
Nu știu/ Prefer să nu răspund	10,7	9,2

CONCLUZII

Datele obținute confirmă lipsa de informare privind riscurile asociate radonului în rândul populației adulte din Republica Moldova. Percepțiile greșite, lipsa accesului la metode de testare și neîncrederea în sursele de informare contribuie la subestimarea acestui risc. Pentru o protecție eficientă a sănătății publice, este necesară implementarea unei strategii naționale de comunicare, cu implicarea activă a medicilor de familie și a instituțiilor publice de sănătate. Accesibilizarea testării pentru radon și creșterea gradului de informare sunt condiții esențiale pentru reducerea expunerii și prevenirea bolilor asociate. Elaborarea și aplicarea Programului Național și a Planului de acțiuni în controlul radonului vor contribui la lichidarea lacunelor depistate în studiu.

REFERINȚE:

1. IAEA. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; 2014.
2. ZEEB, H., Shannoun F. *WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*. (WHO, ed). Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2009.

3. DAVYDOV, A.A., BIBLIN, A.M., KONONENKO, D.V. Radon risk communication issues: results of the all-russian public opinion survey. *Health Risk Analysis*. 2021, Issue 3, pp.29–41. doi:10.21668/health.risk/2021.3.03.eng.
4. DJOUNOVA, J.N., IVANOVA, K.G. Bulgarian public opinion survey for risk perception including radon and suggestions for communication. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2023, Vol. 16, Issue 2, pp.100559. doi:10.1016/j.jrras.2023.100559.
5. TURCANU, C., SCHIEBER, C., SCHNEIDER, T., et al. Stakeholder engagement in the management of indoor radon exposures. Duranova T., Turcanu C., eds. *Radioprotection*. 2020, Vol. 55, pp.S227–S233. doi:10.1051/radiopro/2020038.
6. EU. Directive 2013/59/EURATOM. 2013:104.
7. TUSHE, K., PRIFTI, D., SHANO, J., et al. Results of Albania public opinion survey on radon risk perception. In: *RAP Conference Proceedings*. Sievert Association; 2022:12--16.

N.B. *Cercetarea este susținută de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova în cadrul subprogramului „Monitoringul expunerii la radiații ionizante a personalului expus profesional și publicului cu elaborarea măsurilor de radioprotecție”, codul 130102, al Programului instituțional de cercetare (2024-2027).*

POTENȚIALUL PROFILACTIC ŞI TERAPEUTIC AL RESVERATROLULUI ÎN REDUCEREA CETONURIEI ȘI PROTEINURIEI INDUSE DE DIABETUL EXPERIMENTAL

THE PROPHYLACTIC AND THERAPEUTIC POTENTIAL OF RESVERATROL IN ATTENUATING KETONURIA AND PROTEINURIA INDUCED BY EXPERIMENTAL DIABETES

CZU: 615.322:616.379-008.64 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.31**

Aurelia CRIVOI
ORCID: 0000-0002-1917-1278
E-mail: crivoi.aurelia@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Iurie BACALOV
ORCID: 0000-0002-1651-9056
E-mail: iurie.bacalov@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena CHIRIȚA
ORCID: 0000-0002-9717-8133
E-mail: chiritaelena30@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Adriana DRUȚA
ORCID:0000-0002-5961-6518
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ecaterina MELNIC
ORCID: 0009-0004-0912-3397
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Ketonuria and proteinuria are important markers of metabolic imbalances and kidney damage in the context of diabetes mellitus. The present study investigated the therapeutic effect of resveratrol, a natural polyphenolic compound with antioxidant and anti-inflammatory properties, on ketonuria and proteinuria levels in experimentally induced diabetes in white laboratory rats. Its administration led to a reduction in urinary excretion of ketones and proteins, suggesting a protective effect on renal tissue and a possible alleviation of oxidative stress and diabetes-associated inflammation. The obtained results support the need for further research to elucidate the underlying molecular mechanisms and evaluate the applicability of this bioactive compound.*

Keywords: *ketonuria, experimental diabetes, hyperglycemia, proteinuria, resveratrol.*

INTRODUCERE

Hiperglicemia cronică se poate corela cu o serie de complicații cronice cu apariția unor organopatii cardiace, renale, vasculare, retiniene, cerebrale, etc [1]. Afectarea funcției renale este una dintre cele mai grave și frecvente consecințe ale diabetului zaharat, manifestată prin apariția cetonuriei și proteinuriei. Aceste modificări biochimice reflectă deteriorarea progresivă a țesutului renal ce pot conduce la insuficiență renală cronică, afectând calitatea vieții pacienților și crescând mortalitatea asociată bolii [2].

Complicațiile diabetului zaharat pot fi atât acute cât şi cronice. Complicațiile cronice diabetice nu sunt „simetrice", adică nu apar la toți diabeticii cu o frecvență asemănătoare, iar la același diabetic unele complicații pot fi mai grave decât altele. Există cazuri în care pot fi întâlnite trei sau patru complicații cronice, după cum există și cazuri în care una dintre complicații domină tabloul clinic, celelalte fiind absente sau discret exprimate [3].

Cetonuria este reprezentată de prezența excesului de corpi cetonici în urină, subproduse ale metabolismului lipidelor care apar în situația de deficit sever de insulină sau de utilizare inadecvată a glucozei ca sursă energetică. În diabetul zaharat, hiperglicemia și lipsa insulinei determină organismul să mobilizeze rezervele de grăsimi, generând cetone ca alternativă energetică. Acumularea acestor corpi cetonici în sânge și eliminarea lor prin urina este un semnal al dezechilibrelor metabolice grave, putând conduce la cetoacidoză diabetică, o complicație acută care necesită intervenție medicală promptă [4].

Pe de altă parte, proteinuria o altă complicație ce constă în prezența anormală a proteinelor, în special a albuminei, în urină. În contextul diabetului zaharat, proteinuria este rezultatul deteriorării barierei de filtrare glomerulară a rinichilor, cauzată de stresul metabolic, inflamație cronică și efecte nocive ale hiperglicemiei asupra structurilor renale. Această pierdere proteică semnificativă indică leziuni progresive ale rinichilor și un marker prognostic important al nefropatiei diabetice. Prezența proteinuriei este asociată cu riscul crescut de insuficiență renală și de complicații cardiovasculare [5].

Astfel, cetonuria și proteinuria nu sunt doar manifestări clinice ale diabetului, ci reflectă mecanisme patologice complexe care implică dezechilibre metabolice și inflamație persistentă. Identificarea și gestionarea acestor modificări sunt esențiale pentru prevenirea progresiei bolii și pentru reducerea morbidității și mortalității asociate diabetului zaharat [6].

Astfel, explorarea potențialului compușilor naturali cu efecte antioxidante și antiinflamatorii, precum resveratrolul, reprezintă un domeniu de direcție promițătoare. Acest polifenol, recunoscut pentru proprietățile sale benefice în diverse modele experimentale, contribuie la ameliorarea cetonuriei și proteinuriei, protejând astfel funcția renală și reducând impactul negativ al diabetului asupra organismului. Acesta poate modula stresul oxidativ, inflamația și alte căi patogenetice implicate în progresia complicațiilor diabetice [7].

În contextul diabetului experimental, investigarea efectului resveratrolului asupra cetonuriei și proteinuriei este de o importanță majoră, deoarece aceste manifestări sunt

indicatori direcții ai afectării renale. Studiile care investighează atât potențialul profilactic, cât și pe cel terapeutic al resveratrolului pot contribui la dezvoltarea unor strategii complementare eficiente pentru prevenirea și controlul complicațiilor renale asociate diabetului zaharat [8]. În acest context, scopul prezentului studiu este de a evalua impactul resveratrolului în reducerea cetonuriei și proteinuriei într-un modelul de diabet experimental, oferind astfel o bază științifică pentru utilizarea acestui compus ca adjuvant în profilaxia diabetului zaharat și prevenirea complicațiilor asociate.

MATERIAL ŞI METODE DE CERCETARE

Investigațiile s-au realizat pe șobolanii albi de laborator, de ambele sexe, cu greutatea corporală cuprinsă între 180 – 210 g. Cercetările științifice s-au montat pe 80 șobolani care au fost întreținuți în condiții de vivariu, cu acces liber la hrană și apă. Ca material nativ pentru cercetare a fost utilizată: urina, sângele şi plasma sangvină. Modelul diabetului zaharat a fost obținut prin injectarea alloxanului sub forma de soluție de 5 % (200 mg/kg), iar resveratrolul a fost administrat oral în doză de 25 mg per șobolan/24h. Rezultatele au fost obținute prin analize de laborator precum: testarea glucozei în sânge cu ajutorul glucometrului „On Call Plus”; testarea hormonilor - prin metoda imunofermentativă, la analizatorul Stat Fax 4700, iar pentru testarea corpilor cetonici şi proteinuriei s-au determinat la analizatorul pentru urină URYXXON Relax, utilizând indicatorii standard speciali Medi-Test Combi 11.

REZULTATELE OBȚINUTE ȘI DISCUȚIA LOR

Dereglările funcționale ale pancreasului endocrin în contextul diabetului experimental generează consecințe metabolice semnificative, în principal prin afectarea severă a celulelor β din insulele Langerhans [9]. Aceste modificări conduc la perturbarea reglării hormonale a homeostaziei glucidice, cu creșterea concentrației de glucoză plasmatică și o scădere relativă a nivelului de insulină circulantă. Acest dezechilibru este asociat cu degenerarea și necroza progresivă a celulelor β pancreatice, fenomen patologic central în patogeneza diabetului experimental [10]. Pe fondul distrugerii celulelor β pancreatice în diabetul experimental, capacitatea țesuturilor periferice de a capta și de a utiliza glucoza este semnificativ redusă, contribuind direct la instalarea hiperglicemiei. Această alterare profundă a homeostaziei glucidice este evidențiată de datele noastre experimentale, precum nivelul glicemiei în lotul cu diabet alloxanic au crescut semnificativ, atingând valoarea de - 9,61 ± 0,23 mmol/l, comparativ cu lotul martor - 4,96 ± 0,28 mmol/l. Această diferență confirmă eficiența modelului de diabet indus de aloxan și severitatea alterării metabolice. În paralel, nivelurile de insulină au suferit modificări în starea glicemică: concentrația acestuia în lotul cu diabet aloxanic a scăzut drastic până la 0,63 ± 0,09 pmol/l, comparativ concentrația medie în lotul martor - 2,31 ± 0,15 pmol/l, fapt ce determină o distrugere extinsă a celulelor β.

Tabelul 1. Nivelul glucozei(mmol/l) şi a insulinei(pmol/l) la administrarea resveratrolului pe fondalul diabetului experimental

Indicii	Martor	Alloxan	Resveratrol +Alloxan	Resveratrol
Glucoza (mmol/l)	4,96±0,28	9,61±0,23	6,82±0,19	5,27±0,24
Insulina (pmol/l)	2,31±0,15	0,63±0,09	1,59±0,14	2,08±0,18

Administrarea resveratrolului la animalele cu diabet experimental a condus la o ameliorare semnificativă a ambilor parametri: glicemia a scăzut până la 6,82 ± 0,19 mmol/l, iar nivelul de insulină a crescut până la 1,59 ± 0,14 pmol/l. Aceste modificări indică restabilirea parțială a echilibrului metabolic, sugerând că resveratrolul exercită un efect protector asupra celulelor β-pancreatice și îmbunătățește sensibilitatea la insulină a țesuturilor țintă. Comparativ cu lotul diabetic, în care se observă o hiperglicemie marcată și un deficit insulinic sever, rezultatele obținute susțin ipoteza că resveratrolul are un potențial terapeutic relevant în ameliorarea dezechilibrelor metabolice induse de diabetul experimental, posibil prin mecanisme care includ protecția celulelor β și creșterea sensibilităților periferice [8].

Impactul pozitiv al resveratrolului se reflectă atât în normalizarea valorilor glicemice, cât și în creșterea resursei de secreție insulinică, sugerând o dublă acțiune: de protecție a celulelor β-pancreatice și de ameliorare a sensibilității la insulină. Prin aceste efecte, resveratrolul poate contribui la reducerea riscului de apariție a complicațiilor asociate diabetului zaharat și la restabilirea parțială a homeostaziei metabolice [11].

Corpii cetonici sunt produși în cantități mici în condiții fiziologice normale, însă se acumulează în cantități crescute în situații de dezechilibru metabolic sever. Un simptom important al debutului diabetului zaharat îl constituie anume apariția cetonuriei, care reflectă faptul că organele și țesuturile resimt un deficit energetic cauzat de lipsa glucozei și activează sinteza alternativă a energiei prin metabolizarea lipidelor [12]. Pentru a evidenția variației concentrației corpilor cetonici, am utilizat indicatorii standard de urină, evaluare recunoscută pentru rapiditatea și acuratețea rezultatelor obținute.

Tabelul 2. Variația indicilor corpilor cetonici în urină la administrarea resveratrolului pe fondul diabetului experimental

Indice	Ziua	Martor	Alloxan	Resveratrol	Alloxan + Resveratrol
Corpi cetonici în urină (mmol/l)	**I**	negativ	negativ	negativ	negativ
	V	negativ	3,9	negativ	3,9
	X	negativ	10	negativ	3,9
	XV	negativ	10	negativ	1,5
	XX	negativ	10	negativ	1,5
	XXV	negativ	10	negativ	negativ

Rezultatele experimentale au evidențiat prezența corpurilor cetonici în urina tuturor șobolanilor din grupa cu diabet prin alloxan, concentrația acestora crescând progresiv pe durata acestui studiu. În schimb, în grupul tratat cu resveratrol pe fondul diabetului experimental, s-au înregistrat doar abateri minore față de valorile normale, aceste valori normalizându-se semnificativ până la finalul experimentului sub influența preparatului. Această reducere indică o ameliorare a proceselor metabolice perturbate de hiperglicemie și sugerează o protecție asupra funcției renale, posibil prin mecanisme antioxidante și antiinflamatoare [8].

În mod similar, disfuncția renală poate fi semnalată și prin prezența crescută a proteinelor în urină, un indicator precoce al afectării renale [13]. Proteinele îndeplinesc numeroase funcții vitale în organism, de la structura celulară la reglarea proceselor metabolice și energetice, iar eliminarea lor excesivă prin urina constituie adesea primul semn al deteriorării funcției renale, precedând manifestările clinice evidente ale bolii [5]. Astfel, monitorizarea atât a corpilor cetonici, cât și a proteinelor sunt indicatori ai stării metabolice și renale în diabetul experimental, evidențiind importanța intervențiilor terapeutice, cum ar fi resveratrolul.

Tabelul 3. Variația indicilor proteici în urină la administrarea resveratrolului pe fondul diabetului experimental

Indice	Ziua	Martor	Alloxan	Resveratrol	Alloxan + Resveratrol
Proteine în urină (mmol/l)	**I**	negativ	negativ	negativ	negativ
	V	negativ	0,3	negativ	0,3
	X	negativ	3,0	negativ	3,0
	XV	negativ	10	negativ	1,0
	XX	negativ	10	negativ	0,3
	XXV	negativ	10	negativ	negativ

Proteinuria se menține în limite normale, cu excepția grupului cu diabet indus prin alloxan, unde se observă o creștere semnificativă a nivelului de proteine urinare, indicând prezența modificărilor patologice renale caracteristice diabetului zaharat. Administrarea resveratrolului în contextul diabetului experimental determină o ameliorare a parametrilor proteici urinari, evidențiind efectul său bioreglator.

Primul semn al deteriorării funcției renale este prezența albuminei în urină (microalbuminuria) [14]. În timp, funcția renală poate suferi deteriorări progresive. Disfuncția renală conduce la o filtrare deficitară a sângelui, ceea ce determină reținerea excesivă de apă și electroliți, inclusiv sare, și poate conduce la creșterea în greutate. Deși diabetul zaharat nu cauzează întotdeauna disfuncții renale, monitorizarea reglementării a glicemiei este esențială pentru reducerea riscului dezvoltării nefropatiei diabetice [15]. Scăderea proteinuriei reflectă o ameliorare a permeabilității glomerulare, sugerând că resveratro-

lul are un efect protector asupra structurilor renale, inclusiv asupra endoteliului capilar și membranei bazale glomerulare [16].

Rezultatele obținute în acest studiu susțin ipoteza conform căreia resveratrolul exercită un efect profilactic atunci când este administrat preventiv și are un efect terapeutic atunci când este administrat după instalarea diabetului. Aceste constatări contribuie la consolidarea poziției resveratrolului ca agent adjuvant în strategiile de prevenire și tratament ale complicațiilor, în perioada de debut a diabetului, justificând extinderea cercetărilor în direcția aplicabilității clinice.

CONCLUZII

1. Diabetul experimental indus cu alloxan determină dezechilibre metabolice semnificative, evidențiate prin creșteri marcate ale glicemiei, cetonuriei și proteinuriei, asociate cu deteriorarea progresivă a funcției renale. Administrarea resveratrolului la șobolanii cu diabet experimental a determinat o reducere semnificativă a excreției urinare de corpi cetonici și proteine, sugerând o ameliorare a statusului metabolic general.

2. Efectele benefice ale resveratrolului pot fi atribuite unor mecanisme complexe, incluzând activitatea sa antioxidantă și antiinflamatoare și îmbunătățirea sensibilității periferice la insulină. Valorile glicemiei și ale insulinei au fost parțial restabilite în grupul tratat cu resveratrol, susținând ipoteza că acest compus bioactiv exercită atât un efect terapeutic, cât și profilactic asupra complicațiilor asociate diabetului zaharat.

3. Rezultatele obținute constituie o bază științifică relevantă pentru susținerea utilizării resveratrolului ca adjuvant fitoterapeutic în prevenirea și managementul complicațiilor diabetului zaharat, în special a afectării renale în stadiile incipiente.

REFERINȚE:

1. AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. (2023). Standards of Medical Care in Diabetes—2023. *Diabetes Care*, 46(Supplement_1), S1-S291. https://doi.org/10.2337/dc23-Srev.
2. FORBES, J.M., & COOPER, M.E. (2013). Mechanisms of diabetic complications. *Physiological Reviews*, 93(1), 137-188. https://doi.org/10.1152/physrev.00045.2011.
3. ZHITABCHI, A.E., et al. (2009). Hyperglycemic crises in adult patients with diabetes. *Diabetes Care*, 32(7), ENG, Y., LEY, S.H., & HU, F.B. (2018). Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(2), 88-98. https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.151.
4. K1335-1343. https://doi.org/10.2337/dc09-9032.
5. ALICIC, R.Z., et al. (2017). Diabetic kidney disease: challenges, progress, and possibilities. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 12(12), 2032-2045. https://doi.org/10.2215/CJN.11491116.

6. GIACCO, F., & BROWNLEE, M. (2010). Oxidative stress and diabetic complications. *Circulation Research*, 107(9), 1058-1070. https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.110.223545.
7. ZHANG, L., et al. (2020). Resveratrol ameliorates diabetic nephropathy by activating autophagy via the SIRT1/AMPK/mTOR pathway. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 20(3), 2315-2324. https://doi.org/10.3892/etm.2020.8957.
8. KITADA, M., & KOYA, D. (2013). Renal protective effects of resveratrol and its mechanism. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 99(2), 159-165. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2012.11.011.
9. SZKUDELSKI, T. (2001). The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas. *Physiological Research*, 50(6), 536-546. https://doi.org/10.33549/physiolres.93000050.
10. LENZEN, S. (2008). The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. *Diabetologia*, 51(2), 216-226. https://doi.org/10.1007/s00125-007-0886-7.
11. SZKUDELSKI, T., & SZKUDELSKA, K. (2015). Resveratrol and diabetes: from animal to human studies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1852(6), 1145-1154. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2014.10.013.
12. LAFFEL, L. (1999). Ketone bodies: a review of physiology, pathophysiology and application of monitoring to diabetes. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 15(6), 412-426. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-7560-(199911/12)15:6<412::AID-DMRR72>3.0.CO;2-8.
13. CARAMORI, M.L., et al. (2019). Diabetic kidney disease: from pathophysiology to therapeutic strategies. *Journal of Diabetes and its Complications*, 33(2), 107-115. https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2018.10.007.
14. GROSS, J.L., et al. (2005). Diabetic nephropathy: diagnosis, prevention, and treatment. *Diabetes Care*, 28(1), 164-176. https://doi.org/10.2337/diacare.28.1.164.
15. THOMAS, M.C., et al. (2015). Diabetic kidney disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 1, 15018. https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.18.
16. HUANG, D.D., et al. (2016). Resveratrol protects against diabetic nephropathy by improving glomerular endothelial dysfunction via activating adenosine monophosphate-activated protein kinase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(7), 1408-1416. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04883.

N.B. *Subprogram de cercetare cu cifrul 011001 „Mecanismele de reglare a homeostaziei organismului și a sănătății și elaborarea procedeelor și măsurilor de menținere a ei”.*

EVALUAREA PARAMETRILOR BIOCHIMICI ÎN ORGANISMUL SPORTIVILOR DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ

EVALUATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS IN THE BODY OF HIGH-PERFORMANCE ATHLETES

CZU: 612.111.11:797.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.32**

Inga DELEU
ORCID: 0000-0002-1063-4221
E-mail: deleu.i@mail.ru
Institutul de Educație Fizică și Sport, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Irina DELIPOVICI
ORCID: 0000-0002-1409-9318
E-mail: delipovici.irina@mail.ru
Institutul de Educație Fizică și Sport, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Physical effort is essential to maintaining a healthy lifestyle. When we talk about the bodies of high-performance athletes who are engaged in physical effort on a daily basis, it is important to test certain physiological and biochemical indicators in order to assess the level of adaptation of organ systems to the proposed effort, as well as to evaluate the body's ability to recover after physical effort.*

This paper describes the estimation of hemoglobin levels and iron concentrations in the bodies of high-performance swimmer athletes. Based on the results obtained, we can state that the hemoglobin levels and Fe^{2+} ion concentrations at muscular rest are within normal limits (for both males and females). However, after performing aerobic swimming exercise, both hemoglobin levels and iron ion concentrations increased significantly. This physiological response can be described as an adaptation mechanism to endurance effort, specifically through the increase of circulating blood volume.

Keywords**:** *biochemical indices, hemoglobin, physical effort, swimming, sportsman.*

INTRODUCERE

Orice domeniu al activității umane este în dependență directă de educația fizică și sport. Acestea din urmă sunt valori materiale și spirituale recunoscute de întreaga societate și de fiecare persoană în parte. În ultimii ani tot mai frecvent se vorbește despre educația fizică ca de un fenomen social independent, dar și ca de o calitate de educare a personalității umane. Exercițiul fizic trebuie abordat ca act motric, care dezvoltă calitățile necesare unui sportiv de înaltă performanță, și, totodată, remediul de însănătoșire a întregii națiuni [3, 7, 10].

Înotul, ca probă sportivă de rezistență, influențează favorabil asupra tuturor sistemelor de organe, asupra funcțiilor fundamentale ale organismului, principalul beneficiar fiind sistemul cardio-respirator. În particular, asupra sistemului cardiovascular, înotul acționează prin majorarea volumului fibrelor musculare atriale, dar îndeosebi ventriculare, ca rezultat se fortifică eficacitatea de contracție a miocardului și aprovizionarea avansată a organismului cu oxigen. De asemenea, sporește volumul cardiac și minut volumul, crește elasticitatea vaselor sanguine, se intensifică schimbul de substanțe la nivel capilar [7, 8, 11].

Poziția de clinostatism a sportivilor în timpul înotului favorizează mișcările de inspirație, iar în timpul expirației este activ diafragmul, dar și musculatura abdominală, care învinge presiunea apei. Astfel, se vizualizează o acțiune favorabilă asupra sistemului respirator, prin dezvoltarea mușchilor respiratori, creșterea capacității de respirație, creșterea ventilației pulmonare, ceea ce vorbește despre avansarea profunzimii procesului vital de respirație în timpul efortului fizic. Ca rezultat la sportivii înotători în repaus muscular scade frecvența respirației, deoarece respirația se realizează mult mai profund decât la persoanele neantrenate. Schimbul de gaze la nivelul alveolelor pulmonare în timpul efortului fizic de înot se intensifică și în pereții alveolelor pulmonare se deschid mai multe capilare, astfel, că organismul poate absorbi un procent mai mare de oxigen din aerul inspirat [7, 8].

Oxigenul - elementul esențial pentru viață, și anume pentru declanșarea proceselor de respirație celulară, prin care celulele produc energie absolut necesară pentru buna funcționare fizică și intelectuală a organismului. Oxigenul este esențial pentru sistemul imunitar, acționează benefic asupra funcționalității neuronale, a capacității cognitive a organismului. Insuficiența de oxigen în sânge se manifestă prin oboseală, cefalee, amețeală, dificultăți de concentrare. Elementul vital în organismul uman este transportat de către o proteină conținută în eritrocite - hemoglobina, care ușor leagă oxigenul și-l transportă către toate celulele corpului, dar în sens invers eliberează organismul de bioxidul de carbon prin expirație [5, 6, 12].

Astfel, considerând foarte importantă starea funcțională a organismului, ne-am propus în această lucrare să determinăm nivelul de hemoglobină atât în stare de repaus, cât și după efortul fizic de înot la sportivii înotători (băieți și fete) de înaltă calificare. De asemenea, în procesul de transportare a oxigenului este implicat direct ionul de Fe^{2+}, care a fost testat în repaus și postefort [1, 2, 4, 9].

Reieșind din cele expuse anterior, putem elucida **scopul lucrării**: evaluarea parametrilor biochimici – nivelul de hemoglobină și a concentrației ionilor de fier în sânge, în organismul sportivilor de înaltă performanță.

Pentru a realiza acest scop ne-am propus următoarele **obiective**:

- *aprecierea nivelului de hemoglobină în repaus și postefort la băieții înotători;*
- *estimarea concentrației ionilor de fier în sânge în repaus și postefort la băieții înotători;*

- *aprecierea nivelului de hemoglobină în repaus și postefort la sportivele înotătoare;*
- *estimarea concentrației ionilor de fier în sânge în repaus și postefort la sportivele înotătoare.*

MATERIALE ȘI METODE

La cercetare au participat 12 sportivi înotători (6 băieți și 6 fete), candidați în maeștri în sport, cu vârsta cuprinsă între 16–18 ani. În etapa de acumulare a datelor a fost studiată informația despre anamneza fiecărui sportiv. Efortul de înot a fost realizat în regim aerob, efort moderat, în stil mixt, sub controlul permanent al antrenorului. Cercetarea a fost realizată la școala sportivă de înot, tenis de masă, badminton nr.8, sectorul Buiucani al capitalei și la școala sportivă de fotbal și înot nr.11, sectorul Ciocana al capitalei. Pentru estimarea indicilor biochimici au fost colectate probele de sânge, atât în repaus, cât și după efortul de înot. Determinarea indicilor biochimici a fost realizată cu ajutorul analizatorului biochimic semiautomat Mindray BA – 88A, prin metoda cinetică și cromatografică.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru cercetare au fost selectați indicii biochimici - hemoglobina și ionii de fier, care pot elucida starea funcțională a sportivilor înotători. Hemoglobina reprezintă o proteină conjugată, care constă dintr-un tetramer format din 2 perechi de lanțuri polipeptidice (globine), fiecare dintre acestea fiind conjugat cu un grup hem, un complex al unui ion de fier cu pigmentul roșu, porfirina, care și oferă sângelui culoarea roșie. Ca componentă de bază a globulelor roșii sanguine, hemoglobina îndeplinește rolul semnificativ de transportare a oxigenului de la plămâni la țesuturi, pe calea sângelui arterial, și a bioxidului de carbon din țesuturi spre plămâni, pe calea sângelui venos, pentru a fi eliminat prin aerul expirat. Fiecare gram de hemoglobină poate transporta 1,34 ml O_2 / 100 ml de sânge [117, 139].

Valorile hemoglobinei diferă în funcție de vârstă, sex și chiar rasă, de zona geografică, dar și de activitatea zilnică. Valorile normale ale hemoglobinei, adică intervalele normei sunt de: 130 – 160 g/l la bărbați și 120 – 140 g/l la femei. Deoarece concentrația hemoglobinei la bărbați este cu aproximativ 10 % mai mare decât la femei, reiese că posibilitățile funcționale ale sistemei transportatoare de oxigen, de asemenea, sunt mai mari [62].

Nivelul micșorat de hemoglobină poate fi urmărit în cazul anemiilor de diferite etiologii, așa ca: anemii carențiale (prin deficit de fier, vitamina B_{12}), anemii hemoragice, hemolitice, infecțioase, anemii din cauza insuficienței renale cronice. În cazul dat, anemia provoacă micșorarea posibilităților de aprovizionare a celulelor cu oxigen, iar aceasta din urmă determină micșorarea capacităților de efort fizic.

Tabelul 1. Nivelul de hemoglobină la sportivii înotători (băieți și fete) în repaus și după efort fizic (g/l)

Nr. ord.	***Nivelul de Hb în stare de repaus (g/l), băieți***	***Nivelul de Hb postefort (g/l), băieți***	***Nivelul de Hb în stare de repaus (g/l), fete***	***Nivelul de Hb postefort (g/l), fete***
1.	137	142	124	130
2.	140	145	130	135
3.	142	147	132	134
4.	145	149	137	140
5.	135	140	125	130
6.	142	147	122	125
M ± m	**140,16 ± 3,65**	**145,00 ± 3,40**	**128,33 ± 5,68**	**132,33 ± 5,16**

În urma aprecierii nivelului de hemoglobină în stare de repaus la băieții înotători s-a estimat valoarea medie de **140, 16 ± 3,65 g/l,** fiind în limita normei. Nivelul de hemoglobină la fetele înotătoare în stare de repaus prezintă valoarea medie de **128,33 ± 5,68 g/l**, adică de asemenea se încadrează în limita normei.

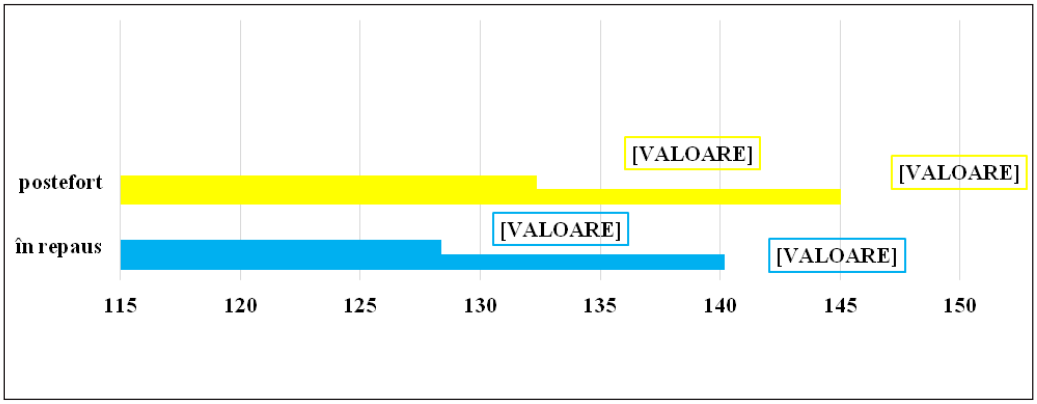


Figura 1. Nivelul de hemoglobină la băieții înotători și fete înotătoare în stare de repaus și după efort fizic (g/l)

După parcurgerea distanței de înot în regim aerob, valorile nivelului de hemoglobină au crescut în ambele loturi, și anume, băieții înotători prezintă valoarea medie de **145,00 ± 3,40 g/l,** iar la fetele înotătoare se remarcă o sporire a nivelului de hemoglobină până la **132,33 ± 5,16 g/l** *(tab.1, figura 1).*

Tabelul 2. Concentrația ionilor de Fe^{2+} în sânge, în stare de repaus și după efort la băieții înotători și fetele înotătoare (*mg/dL*)

Nr. ord.	***Concentrația ionilor de Fe^{2+}, în stare de repaus, băieți înotători***	***Concentrația ionilor de Fe^{2+} postefort, băieți înotători***	***Concentrația ionilor de Fe^{2}, în stare de repaus fete înotătoare***	***Concentrația ionilor de Fe^{2+}, postefort, fetele înotătoare***
1.	37	39	30	32
2.	42	43	34	36
3.	38	40	35	38
4.	40	42	33	34
5.	38	41	36	38
6.	35	37	37	40
M ± m	**38,33 ± 2,42**	**40,33 ± 2,16**	**34,16 ± 2,48**	**36,33 ± 2,94**

În cazul cercetării concentrației ionilor de fier din serul sanguin la băieții înotători, în stare de repaus s-a constatat o valoare medie de **38,33 ± 2,42 mg/dL,** iar la fete **34,16 ± 2,48 mg/dL.** După efortul de înot concentrația ionilor de fier a crescut în ambele loturi (băieți și fete), respectiv **40,33 ± 2,16** și **36,33 ± 2,94 mg/dL** *(tabelul 2).*

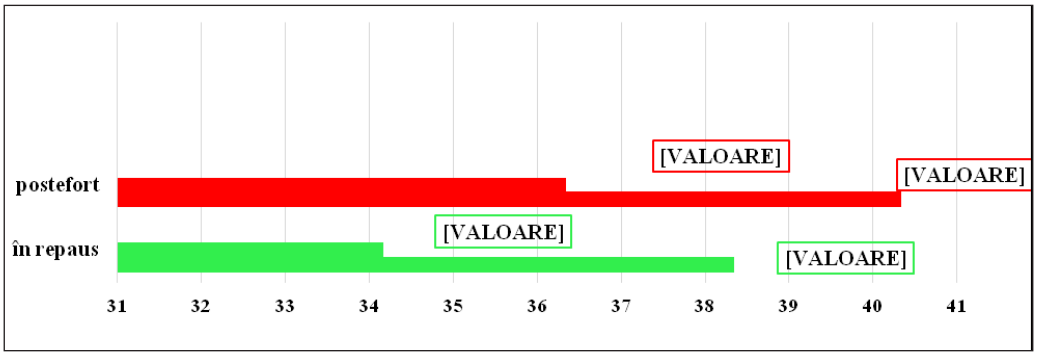


Figura 2. Concentrația ionilor de Fe^{2+} în sânge, în stare de repaus și după efortul de înot la băieții înotători și fetele înotătoare (*mg/dL*)

Deci, putem menționa, că nivelul hemoglobinei după parcurgerea distanței de înot crește la ambele loturi testate, doar că la băieții înotători se remarcă o creștere puțin mai mare față de fetele înotătoare.

Creșterea nivelului de hemoglobină se datorează faptului, că în timpul efortului fizic, din cauza insuficienței de oxigen organismul are nevoie de a compensa această necesitate, astfel, se activează mecanismele de adaptare, prin eliberarea sângelui din organele de depozitare (*ficat și mușchii scheletici*), ca rezultat, sporește volumul de sânge circulant și se majorează nivelul de hemoglobină, concentrația ionilor de fier în sânge. Astfel, sportivii înotători parcurg cu succes distanța de înot în regim aerob.

CONCLUZII

- estimarea nivelului de hemoglobină în stare de repaus la băieții înotători și fetele înotătoare prezintă valoarea medie de **140, 16 ± 3,65 g/l** și respectiv **128,33 ± 5,68 g/l,** fiind în limita normei.
- după parcurgerea distanței de înot nivelul de hemoglobină a crescut în ambele loturi de sportivi testați (băieți și fete) și prezintă valori de **145,00 ± 3,40 g/l** și respectiv **132,33 ± 5,16 g/l.**
- sporirea nivelului de hemoglobină se poate explica prin faptul, că în timpul efortului fizic, din cauza insuficienței de oxigen organismul are nevoie de a compensa această necesitate, astfel, sunt implicate mecanisme specifice de adaptare, prin eliberarea sângelui din organele de depozitare (*ficat și mușchii scheletici*), ca rezultat, sporește volumul de sânge circulant, se majorează nivelul de hemoglobină și concentrația ionilor de fier în sânge. Sportivii înotători parcurg efectiv distanța de înot în regim aerob.

REFERINȚE:

1. Ciochină T., Erhan E. Rolul unor minerale în organismul sportivilor de performanță. În: Conferința științifică internațională studențească "Probleme actuale ale teoriei și practicii culturii fizice" : ed. a 17-a, 16-17 mai 2013. Chișinău, 2013, pp. 401- 409. ISBN 978-9975-4452-8-3.
2. Ciucurel C. Fiziologie. București: Globus, 2003. 214 p. ISBN 973-742-040-3.
3. Crivoi A., Bacalov Iu., Cojocari L. Homologia, sănătatea și folosirea rațională a rezervelor funcționale. Chișinău: CEP USM, 2010. 251 p. ISBN 978-9975-70-939-2.
4. Deleu I. Aprecierea nivelului elementelor minerale de calciu, magneziu și fier la sportivii – înotători de performanță până și după efort fizic efectuat pe veloergometru. În: Studia Universitatis. Seria: Științe reale și ale naturii, 2013, nr 6, p. 9 - 16. ISSN 1857-1735.
5. Deleu I. Aprecierea stării fizice a sportivilor înotători (băieți și fete) în baza unor parametri fiziologo – biochimici. În: Studia Universitatis. Seria: Științe reale și ale naturii, 2012, nr. 1, pp. 119 - 124. ISSN 1857-1735.
6. Deleu I. Hemoglobina – ca factor de condiționare a performanței sportive. În: Conferința științifică națională cu participare internațională „Integrare prin cercetare și inovare" din 10 -11 noiembrie 2014, Chișinău: CEP USM, 2014, pp. 36-39. ISBN 978-9975-71-571-3.
7. Dragan I. Medicina sportivă. București: Editura Medicală, 2002. 357 p.
8. Dumitrescu N., Oprișescu I. Înotul. București: Ed. Didactică și Pedagogică, 2001. 157 p.
9. Irimie F.D. Elemente de Biochimie. Cluj Napoca: Erdely Hirado, 1998. 189 p. ISBN - 973-98374-9-2.

10. Manolachi V. ș. a. Strategia de dezvoltare a culturii fizice și sportului în Republica Moldova. Chișinău: Universitatea de Stat de Educație Fizică și Sport, 2012. 138 p.
11. Popescu M., Peștereva L. Metode de dezvoltare a rezistenței înotătorilor în efortul cu caracter aerob: aspectele teoretice. În: Conferința științifică internațională studențească ”Probleme actuale ale teoriei și practicii culturii fizice”, ed. a 16-a, 11-12 mai 2012. . Chișinău, 2012, pp. 165-171. ISBN 978-9975-4336-1-7.
12. Ахмадеев Р.Р., Тупиев И.Д., Горулёв П.С. Динамика содержания кислорода в крови спортсменов при максимальном случайном апноэ. Теория и практика физической культуры, 2004, nr. 2, с. 43 – 45. ISSN 0040-3601.

DINAMICA EVOLUȚIEI INDICILOR FUNCȚIONALI AI ORGANISMULUI ELEVILOR PUBERTARI ÎN CICLUL ANUAL DE ÎNVĂȚĂMÂNT

DYNAMICS OF THE EVOLUTION OF FUNCTIONAL INDICES OF THE ORGANISM OF PUBERTY STUDENTS IN THE ANNUAL EDUCATIONAL CYCLE

CZU: 612.1/.8:373.5 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.33**

Irina DELIPOVICI
ORCID: 0000-0002-1409-9318
E-mail: delipovici.irina@mail.ru
Institutul de Educație Fizică și Sport, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Inga DELEU
ORCID: 0000-0002-1063-4221
E-mail: deleu.i@mail.ru
Institutul de Educație Fizică și Sport, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This paper discusses the study of the dynamics of the evolution of the functional indices of the body of pubertal students in the annual educational cycle. Following the tests carried out on a sample of three groups of boys and girls, of the same age and somatic type who did not practice sports, but were only engaged in physical education during gymnasium lessons, the dynamics of the evolution of the vital capacity of the lungs, heart rate and blood pressure were assessed.*

Keywords: *blood pressure, functional indices, heart rate, student, physical education, vital capacity of the lungs.*

INTRODUCERE

Lecțiile de educație fizică din treapta gimnazială, urmăresc creșterea potențialului biologic al elevilor, asigurarea dezvoltării armonioase a organismului lor, dezvoltarea deprinderilor motrice utile atât în activitatea zilnică, cât și a celor necesare obținerii performanțelor în sport [1, 3, 6]. Realizarea acestor obiective, impun atât profesorului de educație fizică cât și antrenorului, necesitatea de a cunoaște particularitățile morfofuncționale ale elevilor de diferite vârste, inclusiv și dinamica acestor particularități pe întreaga perioadă gimnazială [1].

Procesul de creștere și dezvoltare a copiilor are loc într-un ritm neuniform, iar pe parcurs apar perioade de încetinire a creșterii. Aceste perioade au diferită durată și de-

pind de vârstă, condiții de viață, particularități individuale și ereditare. Pe parcursul dezvoltării morfofuncționale, perioadele de încetinire a creșterii sunt urmate de perioade de avansare în creștere, evidențiindu-se unele salturi. Cele mai semnificative procese somatomorfologice se înregistrează în perioada pubertară [4, 5, 7].

Studiul dat cuprinde testarea parametrilor funcționali ai organismului elevilor pubertari, conturând o imagine asupra modificării valorilor capacității vitale a plămânilor, a frecvenței cardiace și a tensiunii arteriale, în timpul unui ciclu anual de învățământ.

Scopul lucrării constă în studierea și evaluarea particularităților indicilor funcționali ai organismului pubertarilor și dinamica lor pe parcursul unui an școlar.

Obiectivele cercetării:

- *aprecierea capacității vitale a plămânilor și dinamica acestui indice la elevii pubertari într-un ciclu anual de învățământ;*
- *estimarea frecvenței cardiace a elevilor și dinamica evoluției acestui indice la elevii pubertari într-un ciclu anual de învățământ;*
- *aprecierea tensiunii arteriale a elevilor și dinamica evoluției acestui indice la elevii pubertari într-un ciclu anual de învățământ.*

MATERIALE ȘI METODE

Necesitatea cunoașterii aprofundate a legilor dezvoltării biologice a elevilor treptei gimnaziale, este o condiție esențială pentru organizarea științifică și corectă a lecțiilor de educație fizică în școală și a antrenamentului sportiv. Astfel, au fost selectați cei mai importanți indici funcționali pentru verificarea gradului de dezvoltare funcțională a pubertarilor.

Investigațiile au fost desfășurate la începutul și sfârșitul anului școlar 2023-2024 în incinta Liceului Mihail Sadoveanu. Au fost cercetate câte trei loturi de băieți și fete, de aceeași vârstă și tip somatic. Conform vârstei, loturile au avut următoarea componență: elevi cu vârsta de 10-11 ani, 12-13 ani și 14-15 ani. Fiecare lot a fost alcătuit din a câte 12 băieți și 12 fete. Metodele de determinare a indicilor funcționali au fost: spirometria, pulsometria și tensiometria.

REZULTATE ȘI DISCUȚII.

Capacitatea vitală a plămânilor prezintă un indice fiziologic foarte frecvent utilizat pentru controlul stării funcționale a respirației externe. Acest indice reflectă capacitatea maximă a procesului de inspirație, deci și de aprovizionare a organismului cu oxigen.

Capacitatea vitală a plămânilor depinde de volumul total al plămânilor, de forța mușchilor respiratori, depinde de rezistența opusă curentului de aer în cavitatea nazală, trahee, bronhii, dar și de elasticitatea alveolelor pulmonare etc. De asemenea, capacitatea vitală a plămânilor depinde de vârstă, sex, constituția corporală și de proba sportivă practicată.

Tabelul 1. Dinamica anuală a indicelui fiziologic respirator - capacitatea vitală a plămânilor (CVP), ml, (M±m)

Vârsta (ani)	Băieți		Fete	
	etapa I	etapa II	etapa I	etapa II
10-11	2100,15 ± 0,23	2300,76 ± 0,36	1800,65 ± 0,72	2200,46 ± 0,65
12-13	2400,17 ± 0,36	2700,14 ± 0,65	2500,56 ± 0,36	2700,09 ± 0,28
14-15	2900,18 ± 0,38	3200,29 ± 0,58	2800,42 ± 0,48	3200,45 ± 0,18

Pe parcursul vieții, indicele capacității vitale a plămânilor trece printr-un șir de modificări evolutive, de la naștere până la maturizarea organismului și modificări involutive, cele ce apar în perioada de îmbătrânire. Cercetările efectuate confirmă creșterea capacității vitale a plămânilor, pe măsura înaintării în vârstă a pubertarilor [2,4,5]. De asemenea, s-a înregistrat creșterea neuniformă a capacității vitale la fete și băieți *(tabelul 1, 2).*

Tabelul 2. Dinamica evoluției indicelui fiziologic respirator - capacitatea vitală a plămânilor (CVP) în ciclul anual de învățământ, ml, (M±m)

Indicele	***Vârsta elevilor (ani)***	***Valorile inițiale absolute ale indicelui***		***Creșterea absolută a indicelui***	***Creșterea relativă a indicelui***	***Coeficientul de intensitate al evoluției indicelui %***
		etapa I	etapa II			
Băieți						
CVP (ml)	10-11	2100,15	2300,76	200,61	1,09	8,71
	12-13	2400,17	2700,14	299,97	1,12	11,10
	14-15	2900,18	3200,29	300,11	1,10	9,37
Fete						
CVP (ml)	10-11	1800,65	2200,46	399,81	1,22	18,16
	12-13	2500,56	2700,09	199,53	1,07	7,38
	14-15	2800,42	3200,45	400,03	1,14	12,49

Sporul anual în prima etapă (10-11 ani) este mai mare la fete (399,81 ml) comparativ cu (200,61 ml) la băieți. În etapa a doua (12-13ani) sporul anual la băieți este deja mai mare (299,97 ml) comparativ cu (199,53 ml) la fete. În a treia etapă, sporul anual din nou crește, într-o măsură mai mare la fete (400,03 ml) comparativ cu 300,11 ml la băieți. O asemenea fluctuație a indicelui CVP pe parcursul acestor etape ale pubertății este confirmată și de coeficientul de intensitate al evoluției indicelui determinat, care are caracter diferit la băieți și fete *(tabelul 2).* La băieți coeficientul are cea mai înaltă valoare la 12-13 ani, când atinge 11,10%. La fete valoarea cea mai înaltă se manifestă la 10-11 ani. De asemenea, modificările coeficientului au caracter diferit pentru băieți și fete.

În perioada pubertară, dezvoltarea sistemului cardio-vascular este lentă, dar continuă pe toată durata perioadei cu unele diferențe între sexe. Ritmurile de dezvoltare

morfologică și funcțională nu sunt permanent paralele, creșterea în volum a inimii și a vaselor sanguine fiind urmată, mai tarziu, de îmbunătățirea stării funcționale a acestora.

Tabelul 3. Dinamica anuală a indicelui fiziologic - frecvența cardiacă, bătăi/minut, (M±m)

Vârsta (ani)	Băieți		Fete	
	etapa I	etapa II	etapa I	etapa II
10-11	98,56 ± 0,43	90,65 ± 0,36	88,59 ± 0,80	84,60 ± 0,28
12-13	88,07 ± 0,16	82,36 ± 0,13	74,76 ± 0,63	70,15 ± 0,29
14-15	74,58 ± 0,26	72,50 ± 0,19	70,25 ± 0,48	68,86 ± 0,24

Frecvența cardiacă (FC) la începutul perioadei pubertare este ridicată ajungând la valori 90 - 100 bătăi/minut în stare de repaus [4, 5]. Cercetările date confirmă acest fenomen indicând că la fiecare etapă a pubertății, frecvența cardiacă la fete este mai mică comparativ cu băieții, fapt condiționat de maturizarea mai precoce a organismului la fete [4, 5, 7].

Rezultatele obținute, demonstrează, că necătând la faptul, că în fiecare etapă a pubertății descreșterea indicelui frecvenței cardiace, totuși are un ritm mai intens la băieți, frecvența absolută la ei rămâne superior comparativ cu acest indice la fetele de aceeași vârstă *(tabelul 3, 4).*

Tabelul 4. Dinamica evoluției indicelui fiziologic - frecvența cardiacă în ciclul anual de învățământ, bătăi/minut

Indicele	Vârsta elevilor (ani)	Valorile inițiale absolute ale indicelui		Descreșterea absolută a indicelui	Descreșterea relativă a indicelui	Coeficientul de intensitate al involuției indicelui %
		etapa I	*etapa II*			
Băieți						
Frecvența cardiacă (bătăi/minut)	10-11	98,56	90,65	-7,91	0,91	-8,72
	12-13	88,07	82,36	-5,71	0,93	-6,93
	14-15	74,58	72,50	-2,08	0,97	-2,86
Fete						
Frecvența cardiacă (bătăi/minut)	10-11	88,59	84,60	-3,99	0,95	-4,71
	12-13	74,76	70,15	-4,61	0,93	-6,57
	14-15	70,25	68,86	-1,39	0,98	-2,01

La vârsta pubertară, tensiunea arterială este încă mai joasă decât la adulți: cea sistolică în repaus are valori de 90 – 100 mmHg, iar presiunea diastolică 40 - 50 mmHg. Dat

fiind faptul că în perioada ontogenezei pubertare, în stare de repaus, există o corelație veridică în evoluția tensiunii sistolice și diastolice, în cadrul cercetării date, s-au analizat doar evoluția valorilor tensiunii arteriale sistolice.

Tabelul 5. Dinamica anuală a indicelui fiziologic - tensiunea arterială sistolică, mmHg, (M±m)

Vârsta (ani)	Băieți		Fete	
	etapa I	etapa II	etapa I	etapa II
10-11	92,26±0,18	95,16±0,56	106,12±0,25	108,15±0,16
12-13	102,60±0,25	105,75±0,84	110,14±0,28	113,30±0,52
14-15	110,55±0,60	116,27±0,84	115,32±0,44	118,11±0,26

Rezultatele obținute, evidențiază faptul că tensiunea arterială la fete în toate etapele are valori mai mari. Cu toate că pe parcursul acestei perioade creșterea absolută a indicelui tensiunii este mai mare la băieți, ei rămân în urmă față de fetele de aceeași vârstă *(tabelul 5, 6).* În privința creșterii relative a indicelui tensiunii, aceasta are o valoare aproximativ egală în toate etapele pubertății, atât la băieți, cât și la fete. Coeficientul de intensitate a evoluției indicelui, este mai mare la băieți, față de fetele de aceeași vârstă *(tabelul 6).*

Tabelul 6. Dinamica evoluției indicelui fiziologic - tensiunea arterială în ciclul anual de învățământ, mmHg

Indicele	Vârsta elevilor (ani)	Valorile inițiale absolute ale indicelui		Creșterea absolută a indicelui	Creșterea relativă a indicelui	Coeficientul de intensitate al evoluției indicelui %
		etapa I	*etapa II*			
Băieți						
Tensiunea arterială (mmHg)	10-11	92,26	95,15	2,90	1,03	3,04
	12-13	102,60	105,75	3,15	1,03	2,97
	14-15	110,55	116,27	5,72	1,05	4,91
Fete						
Tensiunea arterială (mmHg)	10-11	106,12	108,15	2,03	1,01	1,87
	12-13	110,14	113,30	3,16	1,02	2,78
	14-15	115,32	118,11	2,79	1,02	2,36

CONCLUZII

- analiza literaturii de specialitate, precum și rezultatele obținute în acest studiu, denotă faptul, că indicii funcționali ai elevilor pubertari, pe parcursul anului școlar au o evoluție diferențiată, unii din ei evoluând într-o măsură mai mare, alții mai lent, iar a treia grupă – staționează;

- din indicii funcționali, o ascensiune ondulatorie o are CVP care la băieți prezintă un coeficient de intensitate: 8,71% (vârsta 10-11 ani), 11,10% (vârsta 12-13 ani) și 9,37% (vârsta 14-15 ani). La fete, s-au înregistrat oscilații similare, însă la valori mai înalte a indicelui: 18,1% (vârsta 10-11 ani), 7,38% (vârsta 12-13 ani) și 12,49% (vârsta 14-15 ani);
- în timpul ciclului anual, interacțiunea indicilor cardiovasculari are un caracter inversat. Astfel, pe măsura înaintării în vârstă, frecvența cardiacă scade, iar tensiunea arterială crește. Cu toate că scăderea absolută a indicelui frecvenței cardiace diferă esențial de la o grupă de vârstă la alta, scăderea relativă se menține aproximativ la același nivel. O situație inversă se constată în cazul tensiunii arteriale, unde are loc o ascensiune a indicelui în corespundere cu procesul înaintării în vârstă.

REFERINȚE:

1. Badiu T. Motricitatea la vârsta școlară mică, în etapa pubertară și a adolescenței. În:Materialele Conferinței științifice internaționale. Galați, 2008, p. 360-364.
2. Chiorescu M., Dorgan V., Pintilei S. Ergofiziologia. Curs didactic. Chișinău: Editura USEFS, 2010. 187p.
3. Delipovici I. Lecțiile de educație fizică și dinamica anuală a indicilor stării funcționale a organismului elevilor de 14-15 ani. În: Știința culturii fizice, nr.26/2, 2016, p.110-121.
4. Guyton A., Hall J. E. ”Tratat de fiziologie a omului”, ed. a XI-a, Ed. Medicală Callisto, 2018. 1152 p.
5. Haulică I. ”Fiziologie umană”, ed. a II-a, Ed. Medicală, 2007. 1052p.
6. Palakshappa D., Virudachalam S., Oreskovic N. M., Goodman E. Adolescent Physical Education Class Participation as a Predictor for Adult Physical Activity. In: National Library of Medicine**,** https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4808271/ (accessed on April 20, 2025).
7. Trost S., Pate R., Sallis J., Taylor W. Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. În: Medicine and Science in Sports and Exercise, 202, vol.34, p. 350-355.

UNELE ASPECTE PRIVIND DEZVOLTAREA SOMATO-FUNCȚIONALĂ ȘI MOTRICĂ LA ELEVI

SOME ASPECTS REGARDING THE SOMATO-FUNCTIONAL AND MOTOR DEVELOPMENT IN PUPILS

CZU: 612.1/.8-053.5 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.34**

Eugeniu DUDNIC
ORCID: 0000-0003-0617-4645
E-mail: edudnic1973@gmail.com
Institutul de Educație Fizică și Sport, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Liuba TURUTA
ORCID: 0000-0000-7065-8698
E-mail: liubovturuta14@gmail.com
Universitatea de Stata din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Natalia DUDNIC
ORCID: 0000-0002-4096-7895
E-mail: ndudnic1983@gmail.com
Liceul Republican de Muzică "S. Rahmaninov", Chișinău, Republica Moldova

Summary. *In a modern society in which the health of the population is increasingly affected by a sedentary lifestyle, research into somatic, functional and motor potential is an ambitious undertaking, which entails a great professional responsibility. At the present stage, the knowledge of the organism's etative characteristics in ontogenesis by pedagogues, trainers and psychologists is indisputable. In our view, from a biological point of view, physical exertion, particularly in sport, is an appropriate biological stimulus (excitant) which forces the body to respond through electrical, mechanical and thermal manifestations. This stimulus, when properly dosed and administered in accordance with the individual's specific characteristics, leads to quantitative and qualitative accumulations aimed at maximum performance.*

Keywords: *somato-functional potential, physical effort, motor potential, motor skill, muscle strength, performance capacity.*

INTRODUCERE

În contextul unei societăți moderne în care starea de sănătate a populației este tot mai mult afectată de stilul de viață sedentar, cercetarea potențialului somatic, funcțional și motric, reprezintă un demers ambițios, ce presupune o mare responsabilitate profesională. Potențialul somato-funcțional și motric al omului a preocupat și continuă să

preocupe specialiştii din domeniul educaţiei fizice şi sportului şcolar, preuniversitar şi universitar, din medicina sportivă, sănătate publică şi din alte domenii. Acest proces complex al evaluării reflectă atât nivelul de dezvoltare a elevului, cât şi eficienţa procesului educaţional parcurs de acesta. În acelaşi timp, este influenţat în mare măsură de profesionalismul de care dă dovadă fiecare cadru didactic.

La etapa actuală cunoaşterea particularităţilor etative ale organismului în ontogeneză de către pedagogi, antrenori şi psihologi este incontestabilă. Pentru a organiza corect procesul instructiv-educativ este necesar de a cunoaşte particularităţile anatomo-fiziologice de creştere şi dezvoltare ale copiilor şi adolescenţilor, perioadele de dezvoltare, cărora le este specific o receptivitate sporită faţă de de acţiunea factorilor mediului, precum şi perioada unei sensibilităţi sporite şi rezistenţe diminuate a organismului.

Cunoaşterea fiziologiei organismului copilului este necesară pentru organizarea corectă a lecţiilor de cultură fizică şi selectarea metodelor eficiente pentru activitatea motorie, pentru formarea deprinderilor motorii, dezvoltarea calităţilor fizice, pentru organizarea măsurilor profilactice de asanare.

Efortul fizic reprezintă prin definiție o solicitare motrică cu caractere bine definite, în funcție de parametrii lui . Efortul fizic din antrenament se reduce la un proces de creștere a capacității de adaptare a organismului la acțiunea stimulilor fizici. I.Dragan arăta că metodica antrenamentului evoluează necontenit, iar baza obiectivă a acestuia este suportul fiziologic. În concepția lui, antrenamentul este un proces complex, multilateral, psihosocial, morfo-funcțional și metodico-pedagogic care urmărește crearea unui individ cu un înalt nivel de sanogeneză, un grad superior de rezistență la diverși factori ai mediului ambiant sau endogen, cu o mare capacitate de efort și un echilibru neuro-cortical și neuro-endocrino-vegetativ adecvat, toate materializate în posibilitatea obținerii unor performanțe sportive deosebite[1, p.21].

În concepția noastră, din punct de vedere biologic, efortul fizic și în special cel sportiv este un stimul (excitant) biologic adecvat care obligă organismul să răspundă prin manifestări electrice, mecanice, termice. Acest stimul, când este bine dozat și administrat corespunzător particularităților individului, conduce la acumulări cantitative și calitative ce vizează obținerea performanței maxime.

Scopul studierii potențialului somato-funcțional și motric la elevi constă în asigurarea unei dezvoltări corecte şi armonioase a organismelor tinere; susţinerea unei dezvoltări psihologice a organismelor umane; optimizarea antrenamentului sportiv şi dirijarea ştiinţifică a acestuia; selecţia medico-biologică în sport; prevenirea şi corectarea unor deficienţe fizice; prevenirea sau tratarea unor boli.

DISCUȚII
PERIOADA ANTEPUBERTARĂ

Copiii de vârsta 6-10 ani nu prezintă diferenţe esenţiale, în funcţie de sex, în ce priveşte talia, greutatea, dezvoltarea sistemului nervos şi neuro-muscular şi a sferei ve-

getative. Până la începutul pubertăţii, băieţii şi fetele au masa musculară aproximativ asemănătoare.

Caracteristica principală a acestei vârste este aceea că ritmul de creştere somatic este mai accentuat decât ritmul de creştere vegetativ. O altă caracteristică este aceea că ritmul de creştere somatică nu este uniform. Astfel, la începutul perioadei, la 6 ani, ritmul de creştere este mai accelerat decât până acum, pentru ca în perioada 8 – 11 ani, acest ritm să scadă progresiv. Copiii cuprinşi în această categorie nu prezintă diferenţe esenţiale în funcţie de sex în ceea ce priveşte talia, greutatea, dezvoltarea sistemului nervos şi neuromuscular şi a sferei vegetative[2, p.25].

Până la începutul pubertăţii, băieţii şi fetele au masa musculară aproximativ asemănătoare. Talia creşte cu aproximativ 5cm anual, iar greutatea cu 2,3-3,5 kg. În ce priveşte musculatura, structura este similară adultului, diferă însă proporţia fibrelor musculare şi anume: la copiii de 6 ani, fibrele lente (roşii) sunt în proporţie de 55,6 la fete şi de 62,1 la băieţi, iar capacitatea glicolitică a fibrelor musculare rapide este semnificativ superioară la băieţi în raport cu fetele. În general, capacitatea glicolitică anaerobă este redusă la copii şi aceasta este compensată de capacitatea mărită de a utiliza sistemul energetic aerob. în această etapă, musculatura dispune de enzimele oxidative necesare, care permit utilizarea acizilor graşi liberi, chiar mai rapid decât adultul, economisind astfel rezervele de glucoză.

Comparativ cu sistemul osos, musculatura copiilor de 6-10 ani este slab dezvoltată. Muşchii flexori - muşchii care ajută la îndoirea unor membre - sunt mai bine reprezentaţi decât extensorii - muşchii care ajută la întinderea unor membre - fapt ce trebuie avut în vedere de către profesorul de educaţie fizică care, prin exerciţii de fortificare a muşchilor antigravitaţionali, va preîntâmpina instalarea deficienţelor de ţinută sau căderea umerilor - din cauză că predomină muşchii flexori, umerii copiilor se lasă în jos. Tonusul muscular - stare permanentă de uşoară tensiune a muşchilor unui organism sănătos - este mai scăzut şi permite efectuarea mai amplă a mişcărilor, dar este defavorabil mişcărilor fine şi precise. Creierul copiilor de 8 ani atinge dimensiunea adultului - 1100-1200 g la vârsta de 6 ani [2, p.19].

Din punct de vedere funcţional, fenomenul esenţial este predominanta excitaţiei şi slaba dezvoltare a inhibiţiei de diferenţiere, fapt ce determină instabilitatea relativă a concentrării şi dificultatea menţinerii atenţiei timp mai îndelungat. Plasticitatea deosebită a sistemului nervos favorizează recepționarea unui număr crescut de noţiuni, mişcări, cuvinte, iar slaba dezvoltare a inhibiţiei de diferenţiere îngreunează fixarea noţiunilor noi. Această neconcordanţă se rezolvă printr-un număr mare de repetări a noţiunilor sau a actelor motrice, astfel, copilul antepubertar fiind capabil să-şi însuşească, într-un ritm crescut, un volum mai mare de cunoştinţe noi decât adultul.

PERIOADA PUBERTARĂ

Vârsta pubertară debutează la fete la 11–12 ani şi la băieţi la 12–13 ani şi durează până la 13–14 ani, respectiv 14–15 ani, fiind considerată a doua fază a maturizării morfologice. Pubertatea aduce transformări psiho-fiziologice cu repercursiuni adânci în

ceea ce priveşte constituţia fizică. Acestea se datorează declanşării neurosecreţiilor hipotalamice care ajung la hipofiza anterioară şi stimulează secreţia STH şi a hormonilor gonadotropi FSH şi LH, cu acţiune asupra glandelor sexuale.

Până la apariţia pubertăţii nu există diferenţe de sex în ceea ce priveşte secreţiile hormonale. În prima fază a pubertăţii se evidenţiază un puseu de creştere ce modifică statura şi greutatea mai rapid şi mai pregnant la fete, faţă de băieţi. Astfel la10–13 ani, fetele sunt mai înalte şi au o greutate corporală mai mare decât băieţii de aceeaşi vârstă, pentru ca mai târziu băieţii să depăşească definitiv fetele în înălţime şi greutate.

În perioada pubertăţii secreţia de testosteron este mult mărită la băieţi (de 10 ori mai mare decât în perioada anterioară), fiind responsabilă, prin caracterul său puternic anabolizant, de creşterea masei musculare de la 27% la 41 – 42%. Ritmul accelerat de creştere din această perioadă priveşte atât creşterea şi dezvoltarea organelor, aparatelor şi sistemelor din sfera somatică cât şi din cea vegetativă.

Din acest punct de vedere, toate aparatele şi organele pot fi împărțite în trei categorii:

- organe şi aparate cu creştere rapidă în perioada pubertară (locomotor, respirator, vase, etc);
- organe şi aparate cu dezvoltare explozivă (aparatul genital);
- organe care cresc până la pubertate, după care involuează (timusul, epifiza, organele limfoide, etc).

Creierul copiilor este la această vârstă de 1400–1500 g, faţă de 1100 – 1200 g la 6 ani, iar din punct de vedere funcţional, sistemul nervos central se caracterizează prin plasticitate mare, care se păstrează şi la această vârstă, cu dominanţă excitaţiei şi tendinţa de iradiere a acesteia, datorită slabei inhibiției corticale, labilitate psihică şi de instabilitate hormonală. Aceste particularităţi ale SNC influenţează în mod direct viteza de formare și stabilitate a deprinderilor motrice, favorizează apariţia oboselii şi slăbește voinţa şi perseverenţa copiilor [2, p.34].

Odată cu intrarea în pubertate, interesul pentru mişcare şi activităţi sportive scade simţitor. De aceea, la unii copii, lipsa de mişcare dublată de o alimentaţie abundentă, duce la instalarea obezităţii şi o evoluţie lentă a procesului de maturizare sexuală la puberi.

La această vârstă, datorită caracteristicilor fiziologice, antrenabilitatea factorilor determinanţi ai condiţiei fizice poate fi maximă la această vârstă. Orice greşeală referitoare la sarcinile de antrenament şi la raportul antrenor – sportiv poate constitui o primă cauză a abandonării activităţii sportive [3, p.79].

Particularităţile fiziologice ale acestei vârste, desemnează această perioadă ca una dintre etapele cele mai favorabile dezvoltării calităţilor motrice. În primul plan rămâne viteza (viteza de deplasare) şi îndemânarea, care se pot dezvolta fără restricţii deosebite, distanţele parcurse cu viteze maxime fiind însă mai reduse decât la adulţi.

Tot în această perioadă este recomandată dezvoltarea calităţii motrice rezistenţa, deoarece VO_2 max poate fi îmbunătăţit înaintea vârstei adulte. Efortul de rezistenţă la volume şi intensităţi adecvate, reprezintă un stimulent biologic pentru dezvoltarea mari-

lor sisteme funcţionale, în special a celor implicate în transportul şi utilizarea oxigenului la nivel celular. Totuşi, nu se va dezvolta în ritm şi scop de performanţă, deoarece volumul cardiac reprezintă 50% din cel al adultului. Din punctul de vedere al calităţii motrice forţa se va pune accentul pe dezvoltare musculară generală, se iniţiază antrenamentul de forţă explozivă și cel de forță în regim de rezistenţă [4, p.53].

Tipul pregnant de activitate pentru perioada pubertară o reprezintă instruirea şcolară în condiţiile diversificării motivaţiilor, a dezvoltării personalităţii, a mobilizării aptitudinilor şi a întregului potenţial bio-motric.

Această etapă se caracterizează printr-un ritm accentuat al dezvoltării somatice (în special între 12-14 ani), caracterizată prin dimorfism sexual, dezechilibre între proporţiile diferitelor segmente şi între sferele morfologică şi vegetativă.

Musculatura scheletică se dezvoltă în special prin alungire, dar forţa relativă nu înregistrează creşteri evidente. Accelerarea creşterii taliei rezultă în special din dezvoltarea în lungime a membrelor faţă de trunchi, ceea ce conduce la un aspect aşa-zis caricatural al puberului.

Mobilitatea articulară înregistrează valori relativ scăzute atât la fete cât şi la băieţi. Datele literaturii de specialitate evidenţiază o continuă îmbunătăţire a marilor funcţii, în ciuda rezervelor funcţionale, încă reduse, ale aparatului cardio-vascular, aparatul respirator marchează o ”creştere” substanţială, indicii obiectivi de creştere demonstrând că rezistenţa aerobă poate fi dezvoltată cu succes în perioada pubertară [5, p.15].

Tânărul trebuie să se adapteze unei existenţe diferite, pe care nu întotdeauna o stăpâneşte uşor, dovadă fiind fluctuaţiile, inconsecvenţele în realizarea eficientă a diverselor sarcini motrice. Puberul nu are o conduită motrică egală, ci una marcată de discontinuităţi, în care mişcările sunt insuficient ajustate, uneori exaltate, alteori apatice. Propria imagine (schema) corporală, insuficient conştientizată în copilărie, se focalizează progresiv, reprezentând atât un nucleu al conştiinţei de sine, cât şi o instantă-reper în reglarea acţiunilor motrice.

Perioada pubertară reprezintă un interval optim pentru învăţarea majorităţii deprinderilor motrice specifice ramurilor de sport, precum şi pentru dezvoltarea calităţilor: viteză, rezistenţă, coordonare – îndemânarea.

Pe lângă perfecţionarea deprinderilor motrice de bază – mers, alergări , sărituri, aruncări-prinderi , însuşite în etape anterioare, iniţierea în practicarea unor ramuri şi probe sportive, prin însuşirea elementelor tehnico-tactice specifice acestora, reprezintă unul din obiectivele importante ale acestei etape (perioade). Acesta trebuie dublat şi de creşterea capacităţii de aplicare a sistemului de deprinderi şi priceperi motrice în condiţii diversificate şi de timp liber. [6, p.48]

PERIOADA POSTPUBERTARĂ

Perioada postpurbetară, denumită şi adolescenţa, începe la fete în jurul vârstei de 14 ani, iar la băieţi la 15 ani şi durează la fete până la 18 ani iar la băieţi până la 19 ani. În această perioadă indicatorii creşterii corporale înregistrează o încetinire progresivă

până la stagnare. Creşterea în înălţime este înlocuită acum cu dezvoltarea segmentelor corporale. Musculatura este bine reprezentată, fiind acompaniată de o bună coordonare neuromotorie şi de o capacitate de învăţare, asimilare şi învăţare, ce constituie baza ameliorării capacităţii de performanţă.

La această vârstă apare a doua etapă de ameliorare a performanţei motrice, accentul fiind pus pe intensitatea efortului. Echilibrul proporţiilor corpului, atingerea nivelului de adult a parametrilor biologici şi funcţionali, stabilitatea psihică şi nivelul intelectual fac ca această perioadă să fie perioada de perfecţionare a tehnicii şi de dobândire a tuturor calităţilor fizice specifice unei discipline sportive.

În această perioadă efortul de tip anaerob alactacid este bine tolerat deoarece se adresează sistemelor nervos şi muscular. Dacă viteza de reacţie nu mai poate fi dezvoltată la această vârstă, celelalte forme de manifestare ale vitezei pot fi îmbunătăţite cu succes pe baza creşterii forţei musculare, a coordonării şi a perfecţionării tehnicii.

Etapa postpubertară este cea mai bună etapă de dezvoltare a forţei şi rezistenţei. Restricţiile în dozarea efortului apar numai în privinţa contracţiilor musculare puternice (maximale sau supramaximale). Din punctul de vedere al forţei se începe dezvoltarea coordonării intramusculare, a puterii, iar după vârsta de 18 ani se poate lucra şi pentru creşterea forţei maxime.

Adolescenţa este perioada de perfecţionare a tehnicii şi de dobândire a tuturor calităţilor fizice, specifice unei discipline sportive. Echilibrul proporţiilor corpului, atingerea nivelului de la adult a parametrilor biologici şi funcţionali, stabilitatea psihică şi nivelul intelectual, fac ca această etapă să fie considerată ”a doua vârstă de aur a învăţării”.

CONCLUZII

Caracteristicile psiho-fizice trebuie să fie exploatate de către profesorul de educaţie fizică şi sport şi antrenor, pentru învăţarea unui număr mare de tehnici fundamentale, iar entuziasmul copiilor trebuie valorificat prin procedee stimulative care să le creeze atitudini şi obiceiuri de lucru asiduu, care se păstrează toată viaţa,

Dintre calităţile motrice care se dezvoltă în această perioadă este viteza, sub toate formele ei de manifestare: de reacţie, de repetiţie şi de execuţie. În acest scop, este recomandabil ca parametrii durată, volum şi intensitate să fie cât mai reduşi.

Plasticitatea deosebită a sistemului nervos favorizează recepţionarea unui număr crescut de informaţii, dar slaba dezvoltare a inhibiţiei de diferenţiere îngreunează fixarea noţiunilor noi. La această vârstă, caracteristicile sistemului nervos sunt favorabile lărgirii repertoriului motric şi ameliorării capacităţilor coordinative.

Din punctul de vedere al potenţialului biomotric, specialiştii sunt unanim de acord că starea de sănătate este condiţionată de resursele biologice, motrice ale individului. Aşa-numitul „physical fitness” (capacitate motrică, condiţie fizică) creează un „mediu intern” sănătos, echilibrat, o stare de bine fizică şi psihică

REFERINȚE:

1. SCARLAT, E., SCARLAT, M., *Educaţie fizică şi sport, Ed. Didactică şi pedagogică*, Bucureşti, 2002.311 p
2. DUDNIC, E., ERHAN, E., DUDNIC, N. *Fiziologia vârstelor și activitatea motrică*.-Chișinău:Print Caro, 2019. 59 p.ISBN 978-9975-56-676-6.
3. IFRIM, M., *Antropologie motrică*. Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1986. 537 p.
4. MOȚOC, D., *Aspecte de fiziologie a efortului fizic*, Ed. Vasile Goldiș, University Press, Arad, 2003. ISBN: 973-8161-72-X 149 p.
5. COJOCARU, V., CREȚU, A., ȘERBĂNOIU, S. *Evaluarea potențialului somatic, funcţional şi motric al populaţiei şcolare din românia*, Bucureşti, 2011. 28 p
6. STĂNESCU, M. *Didactica educaţiei fizice*. ANEFS, Bucureşti, 2009. 96 p.

IMAGINEA DE SINE FIZICĂ A COPIILOR INTOLERANŢI ALIMENTAR

SELF-IMAGE PHYSIC OF CHILDREN WITH FOOD INTOLERANCE

CZU: 159.923.2:616.3-008.1-053.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.35**

Vera FAUSTINO
ORCID: 0009-0007-6540-3213
E-mail: vfaustino2015@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Recently, there has been an increase in the number of children diagnosed with food intolerances. The multitude of factors leading to enzymatic insufficiency negatively impacts the breakdown of certain nutrients, such as gluten, lactose, casein, and others. Identifying the bio-psycho-social aspects of food intolerances and exploring the real possibilities for restoring the health of children with food intolerances—through strict adherence to gluten- or lactose-free diets—can help determine effective recovery and integration strategies.*

In order to develop informative and developmental programs for the recovery and integration of children with food intolerances, it is necessary to assess their current condition and the challenges they face, beginning with the evaluation of self-concept and self-image, which significantly affect the physical and cognitive development of these children.A primary area of interest is the child's physical self-image, acceptance of their physical condition, awareness of their specific nutritional needs, and the pursuit of essential life solutions.

Based on the application of the "Physical Self-Esteem Inventory" (PSEI-25), the physical self-image score for children with food intolerances was found to be 60.9 points, compared to 70.3 points for their peers without food intolerances, on a scale of 100 points. The potential for developing a more positive physical self-image is considerable.The issue of development in children with food intolerances requires an interdisciplinary approach, intersecting with the need to modernize diagnostic and recovery methods, post-diagnostic guidance, dietary education, as well as educational and psychological counseling.

The applicability of the obtained results will contribute to the recovery and social integration of children with food intolerances.

Keywords: *physical self-image, inventory, gluten, lactose, food intolerance, recovery, integration.*

INTRODUCERE

Copiii intoleranţi alimentar sunt în număr comparativ mic şi starea generală a stării sănătăţii lor este în legătură direct proporţională cu reuşita respectării indicaţiilor dietetice, exigențelor de a exclude din nutriţie unele produse, precum glutenul şi lactoza. Motivarea pentru realizarea studiului este inspirată de argumentarea numărului copiilor diagnosticaţi cu intoleranţe alimentare în ultimul timp, cauzată de lipsa sau insuficienţa unor fermenţi responsabili de scindarea anumitor nutrienţi: glutenul, lactoza, cazeina ş.a.

Pentru a identifica aspectul bio-psiho-social al maladiilor din domeniul intoleranţelor alimentare la vârsta pediatrică sunt necesare investigaţii multidisciplinare. Asigurarea condiţiei indispensabile recuperării stării sănătăţii copiilor intoleranţi alimentar, - regimul dietetic fără anumiţi nutrienţi, prezintă o problemă complexă. Obiectivul acestui studiu este estimarea nivelului actual al imaginii de sine fizice a copiilor intoleranţi alimentari în condiţiile ţării noastre. Rezultatele practice vor contribui la evaluarea problemelor existente în sinele fizic ca parte fundamentală a imaginii de sine generale, care la rândul său este componentă a conceptului de sine, ceea ce solicită elaborarea programelor informaţionale şi dezvoltative pentru recuperarea şi integrarea copiilor cu intoleranţe alimentare în societate. Conceptul de sine îşi lasă amprenta asupra dezvoltării fizice şi cognitive a copiilor, îndeosebi a celor cu intoleranţe alimentare, ce au de depăşit provocările specificului alimentaţiei dietetice destinate lor. Cunoaşterea insuficientă a nuanţelor şi complicaţiilor posibile în urma neglijării indicaţiilor dietetice, atitudinea insuficientă faţă de problemă aduc după sine schimbări autoimune în organism, scăderea imunităţii, pierderea în greutate ş. a. În consecinţă au de suferit dezvoltarea fizică, sistemul endocrin, osos, imunitar şi altele. Diagnosticarea cît mai timpurie şi urmarea cu rigurozitate a regimului dietetic fără gluten sau fără lactoză pot contribui la recuperarea stării generale a sănătăţii. Este nevoie de suport ca copiii şi familia să avanseze în adaptare la un nou stil de viaţă, trecând mai uşor peste crizele vârstei pediatrice, hotărâtoare în formarea personalităţii în devenire. Asigurarea necesităților vitale corespunzătoare vârstei în dezvoltarea ontogenetică a copiilor diagnosticaţi cu intoleranțe alimentare pe parcurs întâmpină diverse dificultăţi.

METODE DE CERCETARE

În scopul evaluării stării conceptului de sine la copiii cu intoleranţe alimentare ne propunem examinarea nivelului imaginii de sine fizice, utilizând metoda chestionarului. Pentru realizarea studiului a fost selectat Inventarul „Stima de sine fizică” în versiunea adaptată de Ninot, Delignieres şi Fortes (2000), care au tradus şi adaptat scala multidimensională a sinelui fizic, elaborată de Fox şi Corbin (1989). Scala conţine 25 itemi, grupaţi în 6 subscale: 1) stima de sine globală - SG; 2) valoarea fizică percepută – VFP; 3) condiţia fizică – CF; 4) competenţe sportive – CS; 5) aparenţă fizică – AF; 6) forţă – F. Răspunsurile sunt de la dezacord total .... până la acord total. Fiecare item al scalei este evaluat de la 1 punct până la 4 puncte: 1) Dezacord total (DT) – 1 punct; 2) Dezacord (D) – 2 puncte; 3) Acord (A) – 3 puncte; 4) Acord total (AT) – 4 puncte. Pentru interpretarea integrală a Inventarului ISP-25, care are minimum 25 p. şi maximum 100 p. se utilizează scala Leckert pe trei nivele: nivelul I, redus (25 – 50 puncte), nivelul II, mediu (51 – 75 puncte), nivelul III, înalt (76 – 100 puncte). Pentru interpretarea fiecărei subscale scorul total al scalei obţinut se împarte la numărul de subiecţi. Itemii sunt repartizaţi pe cele 6 scale după cum urmează:

1. Stima de sine globală (SG,ro = EG, fr.) – itemii: 1, 7, 13, 18, 22;
2. Valoarea fizică percepută (VFP,ro = VPP, fr) – itemii: 2, 8, 13, 19, 23;

3. Condiţia fizică (CF, ro = E, fr) – itemii: 3, 9, 14, 20, 24;
4. Competenţă sportivă (CS,ro = CS,fr) – itemii: 4, 10, 15, 25;
5. Aparenţă fizică (AP,ro = A, fr) – itemii: 5, 16, 21;
6. Forţă (F, ro = F, fr) - itemii: 6, 11, 17.

Cotarea itemilor de la 1 până la 4 puncte se efectuează pentru următorii 16 itemi:1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 25. Cotare inversă, de la 4 puncte la 1 punct pentru următorii 9 itemi: 3, 5, 7, 9, 12, 16, 18, 21, 24. Din descrierea Inventarului „Stimei de sine fizice" (ISP-25) pot fi calculate valorile minime şi maxime ale tuturor dimensiunilor imaginii de sine fizice, incluse în structura reflectată în Fig. 1, care urmează.

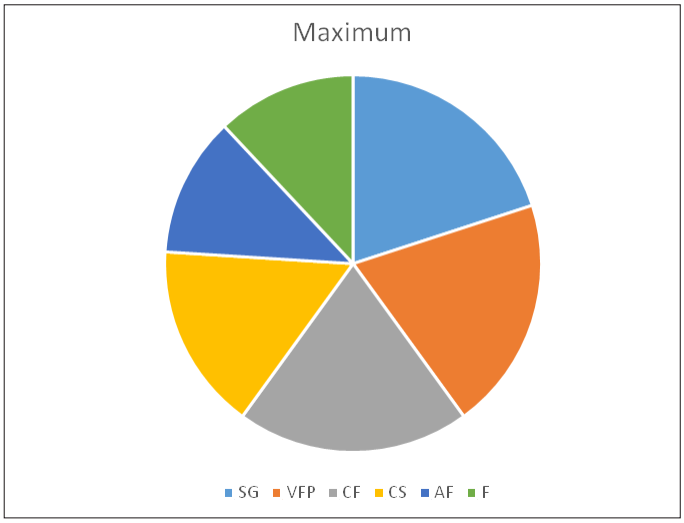


Figura. 1. Diagrama structurii imaginii de sine fizice conform scorului maximal posibil, %

În figura de mai sus este prezentată structura imaginii de sine fizice calculată din valorile scorului maximal posibil al chestionarului aplicat eşantionului. Prezintă interes practic calcularea ponderei valorilor medii a imaginii de sine fizice în valoarea maximă a scorului pe cele toate 6 dimensiuni. Primele trei scale (stima de sine globală, valoarea fizică percepută, condiţia fizică) au ponderea maximal posibilă 20%, iar competenţa sportivă - 16%, aparenţă fizică - 12%, forţa - 12% maximal posibil. Valorile maxim posibile ale subscalelor vor servi la estimarea rezervelor pentru dezvoltarea şi aumentarea imaginii de sine fizice la copii intoleranţi alimentar.

REZULTATE

Inventarul „Stima de sine fizică", ISP-25 a fost aplicat unui eşantion din 42 copii cu vârsta 12-16 ani, din care 17 copii cu intoleranţe alimentare, care au constituit grupul experimental (GE). Pentru grupul de control au fost chestionaţi 25 copii neintoleranţi alimentar de aceeaşi vârstă, (GC). La prelucrarea datelor primare din cei 25 de itemi ai

„Inventarul imaginea de sine fizice" s-au calculat valorile medii pentru 6 dimensiuni: totalul imaginii de sine fizice, stimei de sine globală, valoarea fizică percepută și încă patru subscale componente. Prezintă interes repartizarea valorilor calculate pe nivelele de interpretare, ceea ce este prezentat în tabelul ce urmează.

Tabelul 1. Calcularea valorilor medii a imaginii de sine fizice pe nivele, puncte

	Intervalele nivelurilor, puncte	**GE N**	**GE %**	**GE x**	**GC N**	**GC %**	**GC x**	**GC/GE, %**
1.	Nivelul I, redus (25-50 p.)	5	29	47,2	4	16	49,7	105,3
2.	Nivelul II, mediu (51-75 p.)	9	53	61,7	14	56	68,2	110,5
3.	Nivelul III, înalt (76-100 p.)	3	18	81,3	7	28	86,5	106,4
	Total	17	100	60,9	25	100	70,3	115,4

Totalul imaginii de sine fizice la copii neintoleranți alimentar este cu 15,5% mai mare în grupul de control (GC-70,3p.), decât cei intoleranți alimentar în grupul experimental (GE-60,9p.). Ambele grupuri se încadrează, în mare măsură, în nivelul II, mediu (51-75 p.) al imaginii de sine fizice totale, pentru GE 53% și pentru GC 56% din numărul copiilor chestionați cu valorile medii de 61,7 puncte pentru GE și 68,2 puncte pentru GC. Repartizarea numărului copiilor pe nivelul I (redus) și nivelul III (înalt) indică direcții de dezvoltare a imaginii de sine fizice. Astfel, se evidențiază că în GE 29% din numărul copiilor chestionați sunt cu imaginea de sine fizică redusă, pe când în același timp, în GC doar 16% prezintă nivel redus al imaginii de sine fizice. Un nivel înalt al imaginii de sine fizice prezintă 18% din copiii din GE și 28% din copiii din GC. Ridicarea imaginii de sine fizice solicită un timp mai îndelungat, reieșind din specificul recuperării indivizilor diagnosticați cu intoleranțe alimentare. Prezentarea grafică comparată a valorilor medii a nivelurilor imaginii de sine fizice totale a copiilor cu intoleranțe alimentare și cei neintoleranți este ilustrată de Fig. 2

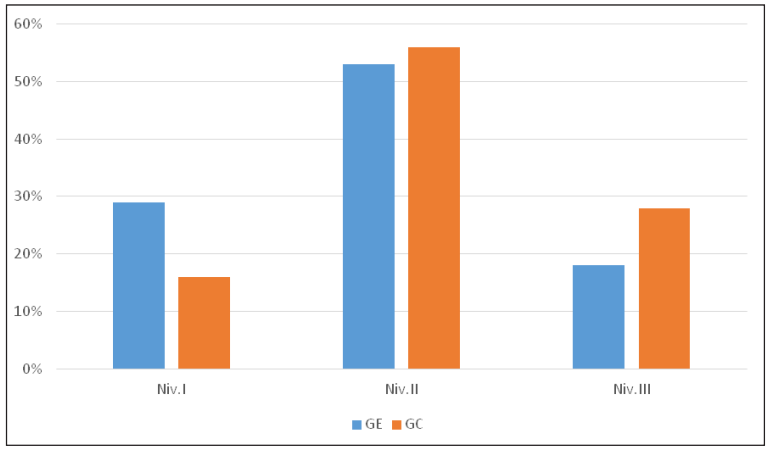


Figura. 2 Repartizarea valorilor imaginii de sine fizice pe nivele pentru GE și GC

Prezentarea repartizării valorilor medii a imaginii de sine fizice pe nivele pentru ambele grupuri (GE şi GC) sugerează oportunităţi pentru elaborarea programelor de dezvoltare şi aumentare a imaginii de sine fizice la copiii intoleranţi alimentar, căci acceptarea necondiţionată a propriei stări fizice şi conştientizarea de a participa la ameliorarea ei sunt esenţiale în dezvoltarea fizico-cognitivă a acestor copii cu restricţii dietetice fără gluten sau fără lactoză.

În continuare prezentăm structura celor şase dimensiuni ale imaginii de sine fizice, calculate în baza datelor însumate în urma aplicării Inventarului „Stima de sine fizică" (ISP-25) copiilor intoleranţi alimentar şi semenilor lor neintoleranţi alimentar. Pentru o analiză mai complexă prezentăm integral toate dimensiunile imaginii de sine fizice calculate în Tab. 2 pentru GE şi GC.

Tabelul 2. Valorile medii ale componentelor imaginii de sine fizice, puncte

	Subscale ale stimei de sine fizice	**min-max, p.**	**%**	**GE suma, p.**	**GE x, p.**	**GE %**	**GC suma, p.**	**GC x, p.**	**GC %**	**x GE/ max %**	**x GC/ max %**
1.	Stima de sine globală	5-20	20	190	11,2	19	335	13,4	19	55,4	67,0
2.	Valoarea fizică percepută	5-20	20	210	12,4	20	338	13,5	20	62,0	67,5
3.	Condiţia fizică	5-20	20	178	10,5	17	318	12,7	18	52,5	63,5
4.	Competenţa sportivă	4-16	16	190	11,1	18	305	12,2	17	69,4	76,3
5.	Aparenţa fizică	3-12	12	136	8,0	13	246	9,8	14	66,7	81,7
6.	Forţa	3-12	12	131	7,7	13	217	8,7	12	64.2	72,5
	Total	25-100	100	1035	60,9	100	1759	70,3	100	60,9	70,3

Rezultatele chestionării obținute în urma aplicării Inventarului „Stimei de sine fizice" oferă informații despre componentele imaginii de sine fizice și valoarea medie a componentelor sale la GE şi GC. Analizând datele din Tab. 2, putem observa că la ambele grupuri sunt rezerve neexplorate la subscala „Valoarea fizică percepută" (VFP). Pentru GE s-au acumulat doar 12,4 puncte din maximum posibil 20 puncte cu rezerva de aumentare de 38%, (100%-62,5%), iar pentru GC valoarea fizică percepută constituie 13,5 puncte cu rezerva de creştere de 32,5% (100%- 67,5%). La ierarhizarea potenţialului dezvoltării imaginii de sine fizice pentru toate dimensiunile, subscala « Condiţia fizică » se plasează pe locul I pentru grupul de copii cu intoleranţe alimentare (GE) – rezrvă de aumentare de 47,5% (100%-52,5%) şi pentru grupul de control (GC) se evidenţiază

o posibilă creştere de 36,5% (100%-63,5%) a subscalei indicate. Dar mai mult este de lucrat, în sensul aumentării acestor dimensiuni, cu copii diagnosticaţi cu intoleranţe alimentare. Rezultatele obținute indică necesitatea realizării activităţilor întru recuperarea şi integrarea copiilor intoleranţi la gluten sau la lactoză. Nivelul insuficient al acceptării proprii condiţii fizice generează dificultăţi în dezvoltarea celorlalte dimensiuni ale imaginii de sine: morală, socială, pozitivă, precum comportamentul şi interrelaţionarea cu ceilalți.

Valoarea medie a imagini de sine fizice totale şi valorile medii pe toate dimensiunile componente ale imagini de sine fizice la grupul copiilor cu intoleranţe alimentare în comparaţie cu semenii lor sunt prezentate grafic în Fig.3

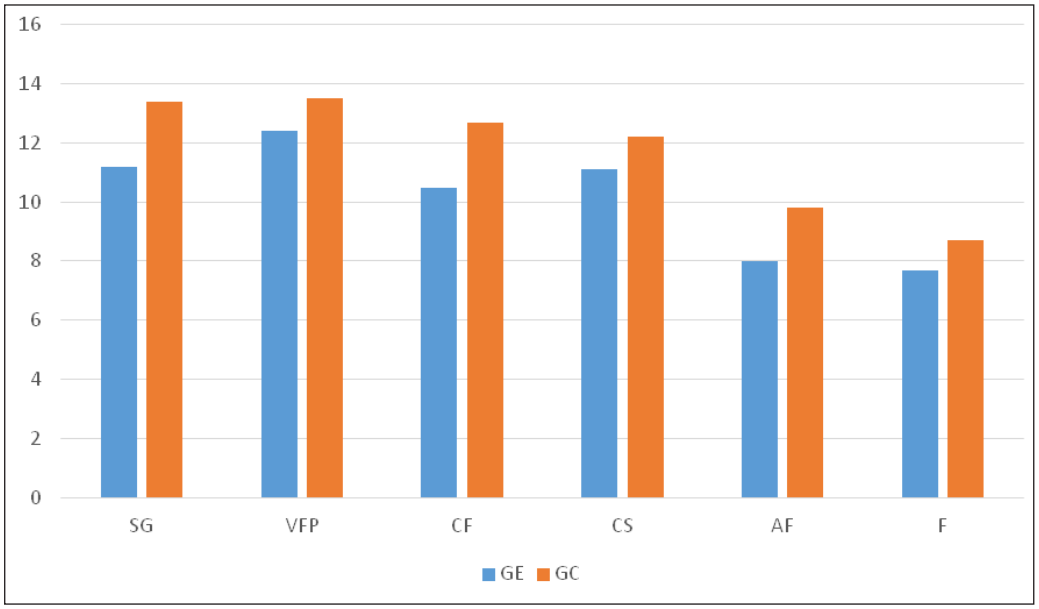


Figura. 3. Prezentarea grafica a valorilor medii pe dimensinile imagini de sine, scalele Inventarului „Stimei de sine fizice''- ISP-25, pentru GE şi GC, puncte

În urma analizei structurii imaginii de sine fizice, oferită de datele prelucrate în urma aplicării chestionarului, putem constata că în ambele grupuri sunt rezerve pentru aumentarea nivelului imaginii de sine fizice pe dimensiuni, dar mai mult este de dorit pentru copiii cu intoleranţe alimentare. Pentru grupul experimental (GE) se evidențiază rezerve de explorat pe toate dimensiunile imaginii de sine fizice. Raportând valorile medii obţinute către scorul maximal posibil pentru fiecare dimensiune pentru ambele grupuri, am obţinut valoarea rezervei (în %) pentru aumentarea componentelor imaginii de sine fizice:

1) stima de sine globală– GE (44,6 %) şi GC (33,0 %);
2) valoarea fizică percepută– GE (38,0 %) şi GC (32,5 %);

3) condiţia fizică – GE (47,5 %) şi GC (36,5%);
4) competenţa sportivă– GE (30,6 %) şi GC (23,7 %);
5) aparenţa fizică– GE (33,3%) şi GC (18,3 %);
6) forţă– GE (35,8%) şi GC (27,5%).

În ordine descrescătoare pentru grupul copiilor cu intoleranţe alimentare (GE) potenţialul dezvoltării imaginii de sine fizice este următorul: condiţia fizică – 47,5 %, stima de sine globală – 44,6 %, valoarea fizică percepută –38,0 %, forţă – 35,8%, aparenţa fizică – 33,3%, competenţa sportivă – 30,6%. Pe când ordinea descreşterii pentru grupul copiilor neintoleranţi alimentar tabloul potențialului dezvoltării imaginii de sine fizice este altfel: condiţia fizică – 36,5%, stima de sine globală – 33,0 %, valoarea fizică percepută – 32,5 %, forţă – 27,5%, competenţa sportivă – 23,7%, aparenţa fizică – 18,3 %.

În scopul armonizării autoacceptării necondiţionate de către copiii cu intoleranţe alimentare devine necesar vital de contribuit la conştientizarea specificului alimentar, ca condiţie primară, indispensabilă vieţii.

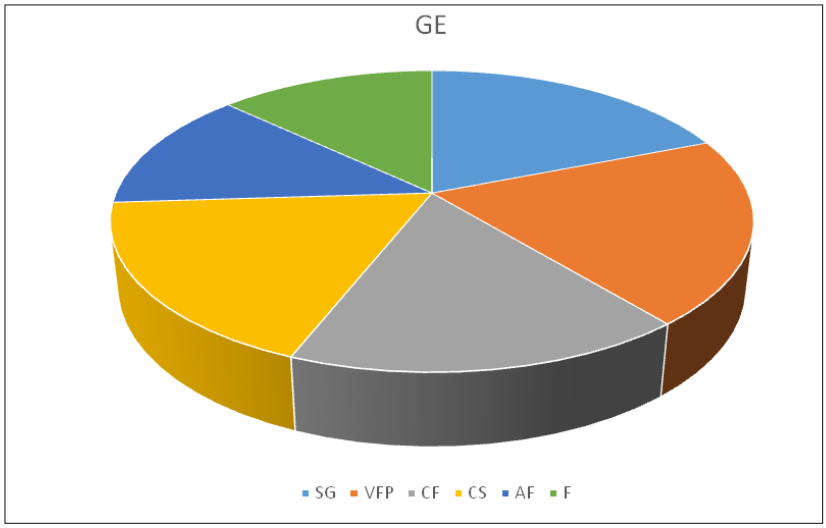


Figura. 4. Diagrama structurii imaginii de sine fizice conform dimensiunilor pentru GE, %

În figura de mai sus este prezentată structura imaginii de sine fizice calculată din valorile medii pe dimensiuni pentru GE. Cea mai mare pondere în structura reală a imaginii de sine fizice la copii intoleranţi la gluten şi lactoză ocupă subscalele VFP (20%), SG (19%), CS (18%). Prezintă interes practic calcularea ponderei valorii medii a imaginii de sine fizice în valoarea maximă a scorului, de unde vedem în ce volum real avem de sporit nivelul imaginii de sine fizice. Totalul imaginii de sine fizice al grupului de copii cu intoleranţe alimentare are ponderea de 60,9% (60,9 p. : 100 p.*100), ceea ce constituie circa două treimi. Pentru ameliorarea nivelului imaginii de sine fizice la copiii intoleranţi alimentar este necesar de examinat nivelul inteligenței emoționale în căutarea şi

aflarea modalităților de îmbunătăţire a dezvoltării fizico– cognitive a copiilor intoleranţi alimentar. Acest specific le impune necesitatea vitală de a conştientiza profund nuanţele alimentaţiei dietetice, ceea ce le creează un alt stil de viaţă cu selectarea minuţioasă a nutrienţilor din alimentaţie.

CONCLUZII

Ultimul timp este în creştere numărul copiilor diagnosticaţi cu intoleranţe alimentare, care primesc indicațiile respectării alimentaţiei dietetice (cele mai frecvente fiind fără gluten sau fără lactoză). În scopul vizualizării tabloului imaginii de sine fizice la copiii cu intoleranţe alimentare a fost aplicat Inventarul „Stima de sine fizică", ISP-25 pentru GE și GC. În urma prelucrării datelor primare se evidenţiază nivelul redus al imaginii de sine fizice totale, precum şi pe dimensiunile componente.

Putem conclude, că pentru grupul de copii cu intoleranţe alimentare (GE), indicatorii analizaţi au valori medii mai joase, decât grupul de control (GC), semenii lor neintoleranţi alimentar. Astfel nivelul imaginii de sine fizice totale este cu 9,4 puncte mai micîn GE decât în GC, ceea ce constituie 13,4%, (60,9p./70,3p.*100) iar nivelul aparenţei fizice la fel este mai redus decât la grupul de control, constituind respectiv 8 puncte şi 9,8 puncte, deci, este mai redus cu 18,4% (8,0p./9,8p.*100). În urma prelucrării şi analizei datelor, ce elucidează nivelul actual al imaginii de sine fizice, ceea ce indică într-o măsură oarecare şi nivelul autopercepţiei, autoacceptării stării dezvoltării fizice de către copii intoleranţi alimentar, va fi elaborat un program de instruire în alimentaţia dietetică fără gluten sau fără lactoză, precum şi alt program pentru dezvoltarea personală, destinate copiilor cu intoleranţe alimentare, conform vârstelor,

Familiile care cresc şi educă copii cu diagnosticul de intoleranţe alimentare au necesitate de consiliere şi asistenţă informaţională pentru a fi instruiţi în nuanţele recuperării stării sănătăţii şi integrării sociale. Familia este sprijinul şi ajutorul permanent în dezvoltarea acestor copii, dar în realitate se întâmpină probleme sociale şi dificultăţi integrative de diferită complexitate.

Este recomandabilă familiarizarea părinților cu specificul maladiei și consecințele nefaste ale abaterilor de la respectarea strictă a regimul alimentar liber de gluten sau de lactoză - unica condiție pentru recuperarea și menținerea stării sănătății. Elaborarea și desfășurarea unor traininguri pentru dezvoltare personală adresate familiilor și copiilor cu intoleranţe alimentare pe vârste vor avea un impact favorabil şi foarte benefic, precum şi informarea cadrelor didactice din sistemul de învățământ despre specificul maladiei și necesitatea identificării abilităților celor ce învață spre realizarea unui feedback constructiv necesar dezvoltării armonioase a copiilor cu intoleranţe alimentare.

REFERINȚE:

1. BONCHIȘ, E. Studierea imaginii de sine în copilărie. Oradea, 1997.

2. BROSTOFF, J., GAMLIN, L. Alergii şi intoleranţe alimentare. Iaşi, 2009. 406 p.
3. CALLO, T. Pedagogia practică a atitudinilor. Chişinău: Litera Educaţional, 2014.
4. CHEPTANARI, S. Anatomia şi fiziologia omului. Chişinău, 2013. 391 p.
5. DAVIS, W. Dieta fără gluten : renunţă la produsele făinoase. Braşov, 2013. 284 p.
6. FOCŞA-SEMIONOV, S. Învăţarea autoreglată. Chişinău, 2010. 360 p.
7. FOX, K.H., CORBIN, C. The Phyisical Self-Perseption Profile. 1989, 11
8. GONŢA, V. Formarea imaginii de sine la adolescenţi. Chişinău, 2004.
9. MIHAILOV, V. S.; PALCO, A.S. Sănătatea e comoară. Chişinău, 1991. 177 p.
10. NINOT, G., et al.L'évaluation de l'estime dans le domaine corporel. S.T.A.P.S. 2000, 53
11. PERLMUTTER, D. Alimente care ucid creierul: cerealele, zahărul ş.a. București, 2015. 380 p
12. .REVNOVA, M.O. Celiachia maladie sau mod de viaţă. Sankt-Petersburg, 2010. 140 p

REGLAREA HOMEOSTAZIEI SISTEMULUI IMUNITAR DE CĂTRE AMINOACIZII LIBERI ÎN FUNCȚIE DE ALIMENTAȚIE ȘI FUNCȚIONAREA UNOR SISTEME ALE ORGANISMULUI

REGULATION OF IMMUNE SYSTEM HOMEOSTASIS BY FREE AMINO ACIDS DEPENDING ON DIET AND THE FUNCTIONING OF CERTAIN BODY SYSTEMS

CZU: 612.017.1:612.398.192 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.36**

Svetlana GARAEVA
ORCID: 0000-0002-9257-5818
E-mail: garaeva.47@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Lilia POLEACOVA
ORCID: 0000-0001-8212-096X
E-mail: poleacovalilia85@gmail.com
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina POSTOLATI
ORCID: 0009-0009-0439-8929
E-mail: galinapostolati@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary*. The immune system is essential for maintaining homeostasis, and its dysfunctions influence the onset and progression of infectious, autoimmune, oncological, and allergic diseases, as well as the efficacy of treatment and the risk of complications. Nutrition plays a fundamental role in modulating immune responses, particularly through specific amino acids such as glutamine, arginine, and branched-chain amino acids, which directly stimulate lymphocyte activation, cytokine production, and the integrity of the intestinal barrier. The analysis of immunoactive amino acids and lymphocyte metabolic parameters offers promising diagnostic and therapeutic tools. The immune system interacts dynamically with the nervous and endocrine systems through neuroimmune and metabolic pathways, supporting personalized medical strategies.*

Keywords: *free amino acids, nutrition, homeostasis, immunity, physiological systems.*

Sistemul imunitar, datorită rolului său funcțional, este esențial în protejarea organismului împotriva factorilor patogeni externi și interni și participă la toate procesele de

reglare din organism. Disfuncțiile acestuia pot fi agravate de dezechilibre nutriționale sau metabolice [1]. Diversitatea funcțiilor imunității și sensibilitatea sa la diferiți factori determină faptul că disfuncțiile sistemului imunitar pot apărea în numeroase boli, deseori influențând în mod semnificativ patogeneza bolii în sine. Disfuncțiile imunității sunt asociate cu dezvoltarea patologiilor infecțioase, oncologice și autoimune, diferitelor tipuri de alergii și altor forme cronice de boli. În plus, chiar dacă dereglările sistemului imunitar nu determină patogeneza bolii principale, ele pot afecta sensibilitatea la medicamente, caracterul evoluției și rezultatul procesului patologic principal, fără a mai vorbi de apariția complicațiilor. Starea imună este influențată negativ în bolile cronice precum BCR, unde flora intestinală este afectată, iar bariera epitelială este compromisă [2]. De asemenea, metabolizarea acizilor biliari de către bacterii are efecte importante asupra homeostaziei imunologice [3]. Primele semne ale perturbării homeostaziei imune trebuie căutate la nivel celular, unde începe formarea reacțiilor de răspuns la factorii externi, ceea ce, la rândul său, permite o înțelegere a strategiei metabolice a răspunsului imunitar ales de organism [4]. Este important de subliniat că sistemul imunitar funcționează în strânsă legătură cu sistemul nervos, endocrin, digestiv și alte sisteme și organe. Compoziția aminoacidică a sângelui afectează direct funcția secretorie gastrică și este esențială pentru echilibrul imun [5]. Aportul corect de aminoacizi poate compensa dezechilibre hepatice apărute în context de intoxicații cronice, contribuind astfel la menținerea unui status imunitar adecvat [6]. Prin urmare, dereglările funcțiilor sistemului imunitar pot provoca diverse boli și, invers, bolile pot afecta funcționarea sistemului imunitar.

Nutriția este unul dintre factorii principali care determină activitatea funcțională a componentelor sistemului imunitar [7]. Se știe că o alimentație sănătoasă și echilibrată include numeroși nutrienți cu un rol important în menținerea eficienței sistemului imunitar și asigură [8]: energie pentru funcționarea sistemului imunitar; blocuri de construcție pentru sinteza acizilor nucleici, proteinelor și a noilor celule, precum și pentru menținerea integrității barierelor de protecție; substraturi specifice pentru sinteza metaboliților necesari funcționării sistemului imunitar (de exemplu, arginina pentru sinteza oxidului nitric sau acizii grași polinesaturați pentru sinteza eicosanoidelor); nutrienți necesari pentru sinteza factorilor de reglare (vitamina A, zinc); nutrienți cu proprietăți antibacteriene sau antivirale specifice (vitamina D, zinc); nutrienți care protejează împotriva stresului oxidativ și inflamator (vitaminele C, E, zinc, seleniu, AGPI și alți antioxidanți); nutrienți care susțin starea normală a microbiomului (pre- și probiotice).

Deficitul de proteină în rația alimentară perturbă funcția imunitară și crește sensibilitatea organismului la agenții infecțioși. În același timp, scade concentrația majorității aminoacizilor în plasma sanguină. Administrarea exogenă de glutamină, arginină, glicină, taurină, triptofan și cisteină este utilizată pentru modularea funcțiilor celulare, inclusiv ale sistemului imunitar. Rolul aminoacizilor liberi în funcționarea sistemului imunitar constă în: 1) activarea limfocitelor T, limfocitelor B, celulelor ucigașe naturale și macrofagelor; 2) menținerea potențialului redox celular, expresia genelor și prolife-

rarea limfocitelor; 3) producția de anticorpi și citokine. Există tot mai multe dovezi că adăugarea unor aminoacizi specifici în rație, în cazul malnutriției sau bolilor infecțioase, crește statutul imunitar. Arginina, glutamina și cisteina sunt cei mai studiați compuși în acest sens [9].

În ultimii ani, cercetătorii au identificat un grup funcțional de aminoacizi imunoactivi, care include treonina, valina, triptofanul, acidul aspartic și acidul glutamic, serina, alanina, cistina și acidul γ-aminobutiric (GABA). Pe lângă faptul că formează proteine imunoactive ale organismului, aminoacizii imunoactivi au capacitatea de a accelera producția de limfocite T și de a crește sinteza anticorpilor specifici. Acești aminoacizi manifestă activitate imunologică într-un interval larg de doze și, prin urmare, alături de peptide, sunt promițători ca imunomodulatori. În acest sens, acidul aspartic este deosebit de caracteristic, distingându-se prin cea mai puternică activitate. Manifestările activității imunologice ale acestor aminoacizi, care fac parte sau nu (GABA) din structura proteinelor, indică existența receptorilor pentru acești compuși pe limfocitele T [10].

Activitatea imunologică ridicată a unor aminoacizi izolați permite să se presupună că aminoacizii, ca structuri filogenetic mai vechi, îndeplinesc în organism o funcție imunoreglatoare independentă, adică, la fel ca peptidele, reprezintă o verigă autonomă a sistemului de reglare a homeostazei. Glutamina este în mare măsură un aminoacid limitativ pentru limfocite, deoarece stimulează nu doar creșterea acestora, ci și expresia antigenelor de suprafață, formarea citokinelor și sinteza proteinelor fazei acute. În cazul insuficienței glutaminei în plasma sanguină, scade proliferarea limfocitelor, se modifică activitatea monocitelor și a macrofagelor, sinteza proteinelor fazei acute, iar apoptoza celulelor este stimulată. S-a demonstrat că glutamina stabilizează ARN-ul [11]. Deficiența de glutamină în mediu conduce la oprirea mitozei în faza G(0). Multe dintre aceste efecte sunt cauzate de scăderea potențialului celular, care depinde și de raportul dintre glutationul oxidat și cel redus. Administrarea glutaminei animalelor, crește concentrațiile tisulare de glutation redus [12].

Fondul de glutamat reprezintă unul dintre cele mai predominante compartimente metabolice în limfocitele izolate din diferite tipuri de țesuturi, conform observațiilor lui B.M. Шейбак și colaboratorii (2008) [9]. Această predominanță se explică nu doar prin implicarea glutamatului în sinteza glutaminei, ci și prin rolul său central în reacțiile de transaminare și dezaminare implicate în metabolismul aminoacizilor. Dincolo de funcția sa ca metabolit intermediar, glutamatul acționează și ca neurotransmițător major, având totodată un rol esențial în reglarea răspunsului imun. Studii recente au evidențiat prezența receptorilor specifici pentru glutamat pe suprafața limfocitelor T, precum și exprimarea transportorilor de glutamat pe celulele prezentatoare de antigen, inclusiv celulele dendritice și macrofagele [13].

Transmiterea semnalelor de către receptorii hidrocarburilor aromatice (tirozină, fenilalanină, triptofan) este considerată un element-cheie al răspunsului imun la nivelul barierei intestinale și, prin urmare, are o importanță crucială pentru menținerea homeostaziei intestinale, modulând regenerarea epiteliului, integritatea barierei intestinale și ex-

pansiunea multor tipuri de celule imune, cum ar fi limfocitele intraepiteliale, limfocitele T-helper 17, celulele limfoide, macrofagele, celulele dendritice și neutrofilele [14].

Metaboliții triptofanului participă la controlul echilibrului dintre inflamație și toleranță în limfocite. Proliferarea celulelor T este inhibată în condițiile deficitului de triptofan și ale acumulării metaboliților toxici ai triptofanului [15]. Administrarea exogenă orală a triptofanului, prin efectul său asupra celulelor intestinale (celule enterocromafine, endocrine, ale sistemului imunitar ș.a.), precum și prin catabolismul realizat de microbiotă, poate influența homeostazia nu doar în tractul gastro-intestinal, ci în întreg organismul [16]. Cea mai mare parte a triptofanului ingerat este absorbită în intestinul subțire [17]. Dieta are un rol esențial, deoarece prezența simultană a aminoacizilor neutri și aromatici (în special valină, leucină, izoleucină) limitează absorbția și disponibilitatea acestui aminoacid pentru organism. O parte semnificativă a triptofanului este metabolizată în tractul gastrointestinal de microbiota intestinală, care produce o serie de molecule biologic active, inclusiv liganzi ai receptorului aril hidrocarburic, care interacționează cu celulele sistemului imunitar și celulele epiteliale ale intestinului [18].

Deși arginina este larg recunoscută ca imunomodulator, mecanismele concrete prin care acest aminoacid participă în răspunsul imun nu au fost încă clarificate. Se știe că în celulele mieloide arginina este metabolizată în principal de către NO-sintaza inductibilă (iNOS) sau arginaza 1 – enzime a căror activitate este stimulată de citok inele limfocitelor T helper de tip 1 sau 2, respectiv. Limfocitele T au nevoie de arginină pentru proliferare, exprimarea complexelor de receptori și formarea mecanismelor de „memorie". Arginina este un aminoacid relativ indispensabil în stările catabolice. Sepsisul, traumatismele grave și tumorile maligne cresc necesarul de arginină și epuizează rezervele acesteia în organism. Acest lucru este agravat de aportul alimentar redus. Administrarea suplimentară de arginină îmbunătățește echilibrul azotat și funcția limfocitelor, stimulând transportul argininei către ficat.

Aminoacizii cu lanț ramificat (BCAA) sunt aminoacizi esențiali pentru sinteza proteică și pentru reglarea activității insulinotrope, mai ales în condiții de dietă hipoproteică [19]. Consumul global de alimente bogate în aminoacizi esențiali este inegal, ceea ce poate duce la diferențe în imunitatea populațiilor [20]. Conținutul de leucină, izoleucină și valină (BCAA) în limfocite, în comparație cu alți aminoacizi proteinogeni, este destul de ridicat. Celulele sistemului imunitar nu doar utilizează BCAA pentru sinteza proteinelor, ci sunt și capabile să îi oxideze. BCAA sunt absolut necesari limfocitelor pentru sinteza proteinelor, ARN-ului și ADN-ului, adică pentru a le permite stimularea. Aportul limitat de BCAA prin alimentație afectează funcționarea sistemului imunitar și crește sensibilitatea la agenți patogeni. S-a demonstrat că administrarea de BCAA îmbunătățește statusul imunitar [21].

Metionina este un aminoacid care inițiază sinteza peptidelor și proteinelor, participând activ și în procesele de metilare a acizilor nucleici. În plus, metaboliții săi joacă un rol extrem de important în reglarea reacțiilor-cheie ale metabolismului [22]. Prin reglarea nivelului intracelular de calciu și formarea radicalilor liberi în limfocite, derivații

care conțin sulf ai metioninei modulează gradul de apoptoză. În realizarea acestor mecanisme sunt implicați activ derivați ai metioninei – cisteina și homocisteina. Producerea crescută de homocisteină în celule are un efect negativ asupra funcției imunitare. Astfel, deficiența de acid folic și vitamina B12 este însoțită de scăderea imunității, apoptoza precursorilor hematopoietici ai celulelor din măduva osoasă și apariția leucocitelor cu ADN hipometilat în circulația periferică. Homocisteina activează celulele T într-un mod dependent de concentrație, declanșând procesele de apoptoză. A fost demonstrată o legătură între acumularea homocisteinei, stresul oxidativ și activarea sistemului imunitar. Pe de altă parte, proliferarea celulelor imunocompetente este însoțită de o nevoie crescută de vitamine din complexul B, ceea ce duce de asemenea la acumularea homocisteinei [23].

O proprietate importantă a taurinei este efectul său imunocorector. Taurina se găsește în leucocite și participă la orice reacție inflamatorie din organism. De aceea, administrarea de taurină induce creșterea numărului de limfocite T, T-helper, elimină disfuncțiile imunității umorale și sporește rezistența nespecifică a organismului [24].

Sinteza și degradarea ciclică a glutationului joacă un rol semnificativ în formarea aminoacizilor glutamină și asparagină. Din perspectiva principiului sanocreotalogic al abordării unitare în evaluarea stării morfofuncționale a organismului, este justificată și argumentată examinarea aminoacizilor ce conțin sulf ca mijloace nespecifice de reglare și menținere a nivelului sanogen al homeostaziei somato-vegetative în ansamblu și al imunității, în mod special [22].

Astfel, putem argumenta că influența aminoacizilor liberi asupra imunității se realizează, pe de o parte, prin intermediul aminoacizilor liberi care circulă în sânge, iar pe de altă parte – prin activitatea pancreasului, ficatului și metabolomului intestinal [25]. Nutriția echilibrată este un factor cheie pentru menținerea microbiotei intestinale și a unei imunități optime [26]. De asemenea, nutrienții influențează nu doar compoziția microbiomului, ci și funcțiile acestuia [27]. Microbiota intestinală consumă activ aminoacizi și participă la menținerea homeostaziei acestora în organism [28]. Menținerea unui nivel sanogen al mucusului intestinal este strâns legată de aportul alimentar de treonină, serină, prolină și cisteină, al căror conținut este relativ ridicat în compoziția mucinelor intestinale [29]. Disponibilitatea aminoacizilor esențiali primari (treonină) și secundari (serină, cisteină) pentru sinteza mucinelor intestinale poate fi prea scăzută din cauza calității insuficiente a alimentației (nivel insuficient al acestor aminoacizi) și a cantității de alimente consumate; prolina poate, de asemenea, să fie un aminoacid esențial secundar pentru sinteza mucinei [29].

Prin urmare, formarea fondului sanogen al sistemului imunitar depinde de aportul în organism și de concentrația în sânge a aminoacizilor imunoactivi, dintre care cel mai mare rol îl au aminoacizii dicarboxilici. Pe baza analizei literaturii de specialitate, se poate concluziona că menținerea imunității sanogene este reglată de aportul aminoacizilor proteinogeni, în special al celor esențiali, în organism. Cei mai importanți pentru menținerea homeostaziei sanogene a sistemului imunitar sunt aminoacizii aromatici, cu

lanț ramificat și cei care conțin sulf. Având în vedere gradul ridicat de informativitate al indicatorilor metabolici în caracterizarea stării funcționale a limfocitelor, analiza parametrilor metabolici contribuie la înțelegerea profundă a mecanismelor de reglare a răspunsului imun, la evidențierea interacțiunilor dintre metabolism și funcțiile celulare, precum și la fundamentarea unor direcții de optimizare a homeostaziei imune în contextul dezechilibrelor metabolice [4].

CONCLUZII

1. Homeostazia sistemului imunitar depinde în mod esențial de un aport adecvat de aminoacizi esențiali, în special de cei cu proprietăți imunomodulatoare, precum glutamina, arginina și triptofanul.

2. Intervențiile nutriționale direcționate, prin ajustarea compoziției dietei și susținerea microbiomului intestinal, pot preveni sau corecta disfuncții ale imunității.

3. Aminoacizii cu lanț ramificat, aromatici și cei care conțin sulf contribuie la activarea, proliferarea și funcționalitatea celulelor imune, în special a limfocitelor T.

4. Relația dintre ficat, intestin și statusul metabolic este esențială pentru menținerea unui echilibru imun, întrucât aceste organe reglează direct disponibilitatea și metabolizarea aminoacizilor.

REFERINȚE:

1. COQUEIRO, A.Y., ROGERO, M.M., TIRAPEGUI, J. Glutamine as an Anti-Fatigue Amino Acid in Sports Nutrition. In: *Nutrients*. 2019. № 11. p. 863.
2. VAZIRI, N.D., ZHAO, Y., PAHL, M.V. Altered intestinal flora and impaired epithelial barrier structurae and function in CKD. The nature mechanisms consequences and potential treatment. In: *Nephrology Dialisis Transplantation*. 2016, 31(5), pp. 737-746.
3. WOLF, P.G. et al. Effects of taurocholic acid metabolism by gut bacteria: A controlled feeding trial in adult African Americansubjects at elevated risk for colorectal cancer. In: *Contemp Clin Trials Commun*. 2020. № 19. p. 10061.
4. САВЧЕНКО, А.А., БОРИСОВ, А.Г. *Основы клинической иммунометаболомики.* Новосибирск: Наука. 2012. 263 с.
5. КУЗНЕЦОВ, А.П. Пул свободных аминокислот крови и секреторная функция желудка в покое и при мышечной нагрузке. В: *Человек. Спорт. Медицина.* 2021, Т. 21, № 1, с. 46-52.
6. РАЗВОДОВСКИЙ, Ю.Е., СМИРНОВ, В.Ю., СЕМЕНЕНЯ, И.Н. Влияние аминокислотных препаратов на аминокислотный состав печени у крыс при субхронической алкогольной интоксикации. В: *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия медицинских наук*. 2020, 17(3), с. 337-345.

7. ЗАЙЦЕВА, О.В., ШУМЕЙКО, Н.К., БЕСЕДИНА, М.В. Питание и иммунитет: есть ли связь? В: *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. 2021. Т. 10, № 4. с. 105-114.
8. CALDER, P.C. Nutrition and immunity: lessons for COVID-19. In: *Nutr Diabetes*. 2021, Vol. 11, N 1, p. 19.
9. ШЕЙБАК, В.М., ГОРЕЦКАЯ, М.В., ДОРОШЕНКО, Е.М. Спектр свободных протеиногенных аминокислот в лимфоцитах. В: *Журнал ГрГМУ*. 2008, №3, с. 62-66.
10. ГАРАЕВА, С.Н., РЕДКОЗУБОВА, Г.В., ПОСТОЛАТИ, Г.В. *Аминокислоты в живом организме*. Кишинев 2009. 550 с.
11. LI, P. Amino acids and immune function. In: *Br JNutr*. 2007, V.98, N2, pp. 237-252.
12. ROTH, E. et al. Regulative potential of glutamine – relation to glutathione metabolism. In: *Nutrition*. 2002, 3(18), pp. 217-221.
13. BOLDYREV, A.A., CARPENTER, D.O., JOHNSON, P. Emerging evidence for a similar role of glutamate receptors in the nervous and immune systems. In: *J Neurochem*. 2005, V. 95, N 4, pp. 913-918.
14. ELLEUCH, L. et al. Bioactive secondary metabolites from a new terrestrial Streptomyces sp. TN262. *Appl Biochem Biotechnol*. 2010, 162(2), pp. 579-593.
15. WATANABE, M. Microanalysis of tryptophan metabolites andsuppressor factor of delayed-type hypersensitivity in mice. In. *Yakugaku Zasshi*. 2002, 7(122), N7, pp. 429-434.
16. ШЕЙБАК, В.М., НИКОЛАЕВА, И.В., ПАВЛЮКОВЕЦ, А.Ю. Свободные аминокислоты в микробно-тканевом комплексе и пейеровых бляшках после курсового введения триптофана. В: *БГМУ в авангарде медицинской науки и практики.* 2022, Вып. 12, Т. 2: с. 243-247.
17. ШЕЙБАК, В.М., ПАВЛОВЕЦ, А.Ю. Триптофан: ключенвой метаболит гомеостаза и регулятор функций организма. В: *Гепатология и гастроэнтерологияю*. 2021, №2, с. 143-148.
18. WATSON, M.D., CROSS, B.L., GROSICKI, G.J. Evidence for the Contribution of Gut Microbiota to Age-Related Anabolic Resistance. In: *Nutrients*. 2021, 13(2), 706-727.
19. HORIUCHI, M. et al. Branched-chain amino acid supplementation restores reduced insulinotropic activity of a low-protein diet through the vagus nerve in rats. In: *Nutr. Metab.* 2017, 14, p. 59.
20. LI, T.T. et al. Global, regional and national consumption of major food groups in 1990 and 2010: a systematic analysis including 266 country-specific nutrition surveys worldwide. In: *BMJ Open*. 2015, 5(9), p. e008705.
21. CALDER, P.C. Branched-chain amino acids and immunity. In: *J Nutr*. 2006, V.136, N 1, pp. 288S-293S.

22. ЧОКИНЭ, В.К. и др. Серосодержащие аминокислоты в диагностике, целенаправленном поддержании и формировании здоровья. În: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2011, 3 (315), pp. 15-35.
23. SCHROECKSNADEL, K., FRICK, B., WIRLEITNER, B. Moderate hyperhomocysteinemia and immune activation. In: *Curr PharmBiotechnol*. 2004. V.5, N1., pp. 107-118.
24. КУЗНЕЦОВА, С.М. КРАСНОЧЕНКО, Т.Д. Роль таурина и его дефицита в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний и диабета. В: *ЖУРНАЛ НЕВРОЛОГІЇ ім. Б.М. Маньковського*. 2018, Т. 6, № 2, с. 27-32.
25. GARAEVA, S., LEORDA, A., POSTOLATI, G. Rolul aminoacizilor în reglarea homeostaziei tractului gastrointestinal. În: Conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională „*Integrare prin cercetare şi inovare*", dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare. Științe exacte și ale naturii. 7-8 noiembrie 2024, Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic al USM, 2024, pp. 268-275. ISBN 978-9975-62-687-3.
26. CANI, P.D. et al. Targeting gut vicrobiota in obesity: effects of the prebiotics and probiotics. In: *Nat. Rev. Endocrinol*. 2012, v.7, pp. 639-646.
27. DAHL, W.J., RIVERO, M.D., LAMBERT, J.M. Diet, nutrients and the microbiome. In: *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. 2020, 171, pp. 237-263.
28. СТОМА, И.О. *Микробиом в медицине*. Москва ГЭОТАР-Медиа. 2020. 320 с.
29. VAN DER SLUIS, M. et al. Threonine metabolism in the intestine of mice: loss of mucin 2 induces the threonine catabolic pathway. In: *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2009, 49, pp. 99-107.

IMPACTUL MONO- ȘI POLIINVAZIILOR ASUPRA CALITĂȚII CĂRNII LA SÂNGER (*Hypophthalmichthys molitrix* (VALENCIENNES, 1844))

THE IMPACT OF MONO- AND POLYINVASIONS ON MEAT QUALITY IN SILVER CARP (*Hypophthalmichthys molitrix* (VALENCIENNES, 1844))

CZU: 576.8:597.551.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.37**

Ion GOLOGAN
ORCID: 0000-0002-8463-2093
E-mail: gologanionel@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chisinau, Republica Moldova

Ștefan RUSU
ORCID: 0000-0002-3204-5436
E-mail: rusus1974@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chisinau, Republica Moldova

Dumitru ERHAN
ORCID: 0000-0001-9722-4382
E-mail: dumitruerhan@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chisinau, Republica Moldova

Summary. *This study evaluated the impact of mono- and polyinvasions on the chemical composition of muscle tissue in silver carp (Hypophthalmichthys molitrix). Specimens were grouped based on infestation levels: Group I (uninfested), Group II (infested with Dactylogyrus sp.), Group III (infested with Diplostomum spathaceum), and Group IV (infested with both species of parasites). Results revealed a decline in protein and lipid content in infested specimens. In Group II, protein content decreased by 1.94% compared to Group I. Group III exhibited an 11.21% protein reduction compared to Group I and a 6.95% decrease compared to Group IV. The lowest protein level was observed in Group IV, with a 17.38% reduction versus Group I. Lipid content followed a similar trend, with Group IV showing the highest decrease (36.94%) compared to Group I. Moisture and pH levels increased in infested groups, peaking in Group IV. Moisture rose by 2.35% in Group IV versus Group I, while pH levels were 3.3% higher. These findings underline the negative effects of mono- and polyinvasions on silver carp muscle quality, emphasizing the need for parasite management strategies.*

Keywords: *silver carp, protein content, lipid content, pH.*

INTRODUCERE

Sângerul (*Hypophthalmichthys molitrix*) este o specie de ciprinide utilizată pe scară largă în acvacultură datorită ratei rapide de creștere și a eficienței în utilizarea hranei [5]. Totuși, creșterea intensivă în sistemele piscicole favorizează apariția infestărilor parazitare, care pot afecta sănătatea peștilor, performanțele de creștere și calitatea cărnii obținute.

Printre paraziții frecvent întâlniți la această specie se numără monogeneenii din genul *Dactylogyrus*, care pot produce leziuni la nivelul branhiilor, afectând funcția respiratorie și generând stres metabolic asupra gazdei. De asemenea, trematodele precum *Diplostomum spathaceum* pot afecta cristalinul ocular, reducând capacitatea de hrănire și orientare a peștilor, iar alte trematode intestinale, cum este *Carassotrema schistorchis*, pot influența procesele digestive și absorbția nutrienților, contribuind la reducerea eficienței conversiei alimentare și a ritmului de creștere [6].

Într-un studiu privind parazitofauna la sânger, Alam et al. (2012) au raportat nouă specii de paraziți helmintici, cu intensități de infestare variabile în funcție de sezon și de dimensiunea peștelui, subliniind impactul infestărilor asupra sănătății peștilor și a producției piscicole [1]. Infestările parazitare pot influența calitatea cărnii obținute de la pești, determinând scăderea conținutului de proteine și lipide, creșterea umidității și modificarea valorilor pH-ului în țesutul muscular, afectând astfel prospețimea și proprietățile organoleptice, aspecte esențiale pentru siguranța alimentară și acceptabilitatea produselor pe piață.

În acest context, evaluarea impactului infestărilor mono- și poliparazitare asupra calității cărnii de sânger reprezintă un element important pentru elaborarea strategiilor de monitorizare și control parazitologic în fermele piscicole, contribuind la menținerea calității produselor destinate consumului uman.

MATERIAL ȘI METODĂ

Investigațiile helmintologice au fost realizate pe un lot de 60 de exemplare de sânger (*Hypophthalmichthys molitrix*). Examinarea parazitologică s-a efectuat conform metodei de disecție helmintologică completă pentru animale și om elaborată de K. I. Skryabin, precum și conform metodei de examinare parazitologică descrisă de Dogiel și modificată ulterior de Bykhovskaya-Pavlovskaya. Organele parenchimatoase au fost examinate cu ajutorul compresorului, iar conținutul tubului digestiv a fost analizat după efectuarea mai multor spălări succesive [3,7].

Pentru identificarea speciilor de helminți, au fost utilizate lucrările metodologice ale autorilor Bykhovsky și Bauyer [2,4]. În scopul evaluării gradului de contaminare cu helminți, au fost calculate extensivitatea invaziei (EI, %) – care reprezintă procentul de gazde infestate cu o anumită specie de parazit, și intensitatea invaziei (II, exemplare) – care indică numărul minim și maxim de paraziți dintr-o specie, înregistrat pe gazdă.

Pentru determinarea impactului mono- și poliinvaziilor asupra calității cărnii, au fost analizați următorii parametri ai țesutului muscular: conținutul de proteina, determinat prin metoda Kjeldahl, și conținutul de grăsimi, determinat prin metoda Soxhlet. Conținutul de umiditate a fost stabilit prin metoda de evaporare a apei prin tratament termic la 100-105 °C până la obținerea masei constante a substanței uscate, diferența de masă fiind determinată prin cântărire. Determinarea valorii pH-ului țesutului muscular a fost efectuată cu ajutorul unui milivoltmetru portabil.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru evaluarea impactului mono- și poliinvaziilor asupra variației compoziției chimice a țesutului muscular, a fost realizat examenul parazitologic al organelor interne și al țesutului muscular al exemplarelor de sânge, iar în funcție de nivelul infestării cu una sau mai multe specii de paraziți, acestea au fost repartizate în patru loturi experimentale:

- Lotul I (martor): exemplare neinfestate;
- Lotul II: exemplare infestate (monoinvazie) cu plathelmintul monogen *Dactylogyrus* sp.;
- Lotul III: exemplare infestate (monoinvazie) cu trematodul *Diplostomum spathaceum*;
- Lotul IV: exemplare poliinfestate cu *Dactylogyrus* sp. și *Diplostomum spathaceum*.

În scopul evaluării impactului invaziilor asupra calității cărnii, s-au determinat conținutul de proteine, lipide, umiditatea și pH-ul țesutului muscular în funcție de specia parazitară și tipul infestării.

Rezultatele obținute au evidențiat o scădere a conținutului de proteine și lipide la exemplarele infestate comparativ cu cele neinfestate, modificare care reflectă consumul rezervelor nutritive ale gazdei sub influența stresului metabolic indus de infestarea parazitară, precum și afectarea metabolismului proteic și lipidic, aspecte frecvent raportate în literatura de specialitate. În lotul II (infestat cu helmintul monogen *Dactylogyrus* sp.), conținutul de proteine a fost cu 1,94% mai redus față de lotul I (martor neinfestat). În lotul III (infestat cu trematodul *Diplostomum spathaceum*), nivelul proteinei a scăzut cu 11,21% comparativ cu lotul I și cu 9,46% față de lotul II. Cel mai scăzut nivel al proteinei a fost înregistrat în lotul IV (poliinfestat), unde s-a constatat o diminuare de 17,38% față de lotul I, de 15,75% față de lotul II și de 6,95% față de lotul III, reflectând astfel efectul cumulativ al poliinvaziilor asupra intensificării proceselor catabolice și epuizării rezervelor proteice ale gazdei (fig.1).

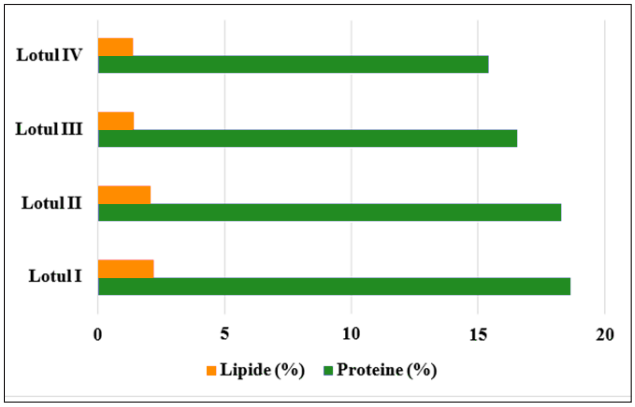


Figura 1. Variația conținutului de proteine și lipide din țesutul muscular al specie *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844) – sânger, în dependență de infestare

Conținutul de lipide, similar, s-a redus fapt corelat cu utilizarea rezervelor lipidice drept sursă energie în condiții de stres parazitar, precum și cu posibila afectare a funcției hepatice de către toxinele parazitare. În lotul II, lipidele au fost mai reduse cu 5,41%. În lotul III, s-a observat o scădere cu 35,59% față de lotul I și cu 31,91% față de lotul II. Cel mai mic conținut de lipide a fost înregistrat la exemplarele din lotul IV, cu o reducere de 36,94% față de lotul I, de 33,3% față de lotul II și de 2,1% față de lotul III (fig.1).

În ceea ce privește umiditatea, s-au înregistrat valori mai mari la exemplarele infestate, fapt explicat prin afectarea integrității fibrelor musculare și creșterea permeabilității membranelor celulare sub influența paraziților, favorizând astfel reținerea apei în țesutul muscular. În lotul II, umiditatea a fost cu 1,19% mai mică decât în lotul III. În lotul III, umiditatea a fost cu 1,06% mai mare decât în lotul I și cu 1,19% mai mare decât în lotul II. Cel mai ridicat nivel al umidității a fost observat la exemplarele din lotul IV, unde valorile au fost cu 2,35% mai mari decât în lotul I, cu 2,48% față de lotul II și cu 1,3% față de lotul III (fig.2).

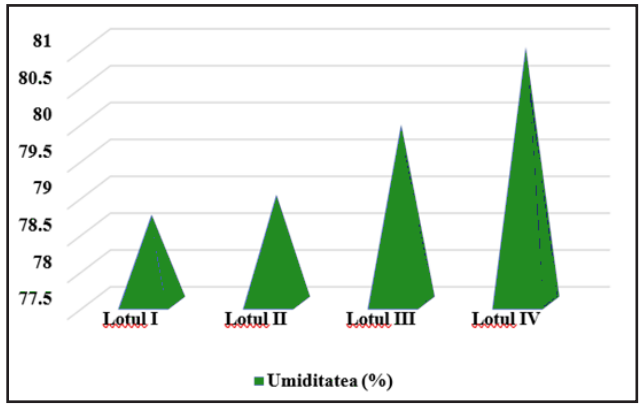


Figura 2. Variația umidității din țesutul muscular al specie *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844) – sânger, în dependență de infestare

În ceea ce privește valoarea pH-ului, aceasta a crescut la exemplarele infestate, cu cea mai mare valoare înregistrată la lotul IV, această creștere fiind asociată cu modificările în echilibrul acido-bazic local, generate de degradarea proteinelor și alterarea metabolismului celular sub influența invaziilor parazitare. În lotul II, pH-ul a fost cu 0,62% mai mare decât în lotul I. În lotul III, pH-ul a crescut cu 1,53% față de lotul I și cu 0,92% față de lotul II. În lotul IV, pH-ul a depășit valorile lotului I cu 3,3%, pe cele ale lotului II cu 2,7% și ale lotului III cu 1,8% (fig.3).

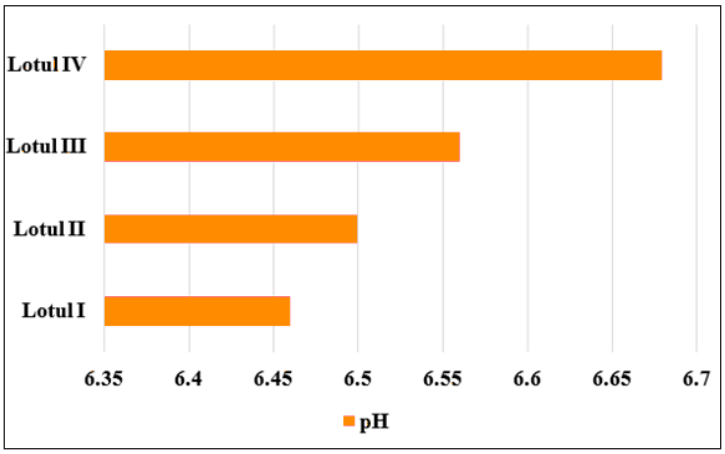


Figura 3. Variația pH-ului din țesutul muscular al speciei *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844) – sânger, în dependență de infestare

Aceste rezultate evidențiază faptul că poliinvaziile determină cele mai mari modificări ale compoziției chimice a țesutului muscular, prin reducerea semnificativă a conținutului de proteine și lipide, ca efect al consumului rezervelor energetice și afectării metabolismului gazdei sub influența paraziților, concomitent cu creșterea valorilor pH-ului și a umidității datorită distrugerii integrității celulare și modificării echilibrului hidric la exemplarele parazitate, subliniind astfel importanța examenului parazitologic pentru menținerea calității cărnii destinate consumului.

CONCLUZII

1. Infestările helmintice determină reducerea conținutului de proteine și lipide în țesutul muscular, această modificare fiind asociată cu consumul rezervelor energetice ale gazdei în condiții de stres metabolic indus de paraziți și cu afectarea metabolismului proteic și lipidic datorită acțiunii toxice și mecanice a acestora. Scăderile procentuale înregistrate evidențiază influența negativă directă a paraziților asupra valorii nutritive a cărnii.

2. Poliinvaziile au exercitat cel mai puternic impact asupra parametrilor biochimici ai țesutului muscular, înregistrându-se cele mai scăzute niveluri ale proteinelor (cu până

la 17,38% față de martor) și lipidelor (cu până la 36,94% față de martor). Aceste date confirmă efectul cumulativ al prezenței simultane a mai multor specii de paraziți, care intensifică procesele catabolice, ducând la epuizarea rezervelor proteice și lipidice ale organismului peștelui, afectând astfel calitatea și valoarea comercială a cărnii.

3. La exemplarele infestate s-a observat o creștere ușoară a umidității în țesutul muscular, cu valori maxime înregistrate la lotul poliinfestat. Această creștere, deși moderată procentual, poate influența consistența și stabilitatea cărnii și este explicată prin deteriorarea structurii fibrelor musculare și creșterea permeabilității membranelor celulare sub influența invaziilor parazitare, favorizând reținerea apei în țesuturi.

4. Valorile pH-ului au fost mai ridicate, în special în cazul poliinvaziilor, ceea ce indică modificări ale echilibrului acido-bazic local și o tendință de alcalinizare a țesutului muscular sub influența proceselor de degradare proteică și de alterare a metabolismului celular, induse de prezența paraziților. Această creștere a pH-ului poate afecta proprietățile organoleptice și prospețimea cărnii de pește, subliniind importanța efectuării controlului parazitologic în scopul menținerii calității cărnii destinate consumului uman.

REFERINȚE:

1. ALAM, M. M., KHAN, M. A., HUSSAIN, M. A., MOUMITA, D., MAZLAN, A. G., SIMON, K. D. Intensity of parasitic infestation in silver carp, Hypophthalmichthys molitrix. In: Journal of Veterinary Science. 2012, vol. 13(1), p.87-92. ISSN 1229-845X.
2. BAUYER, O.N. Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR. Tom 3. Leningrad: Izdatel'stvo Nauka, 1985. 583 p.
3. BYKHOVSKAYA-PAVLOVSKAYA, I.E. Parazity ryb. Rukovodstvo po izucheniyu. Leningrad: Izdatel'stvo Nauka, 1985, p. 90-111.
4. BYKHOVSKIY, B.E. Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb SSSR. Tom 80. Leningrad: Zoologicheskiy institut Akademii nauk SSSR, 1962. 776 p.
5. FAO. Hypophthalmichthys molitrix - Silver carp. Disponibil: https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/hypophthalmichthys_molitrix
6. LIU, L., XU, P., WANG, M., LI, J., ZHANG, X., LU, C. Ecological distribution of Carassotrema schistorchis in wild Hypophthalmichthys molitrix. In: Parasites & Vectors. 2020, vol. 13, p.509. ISSN 1756-3305.
7. SKRYABIN, K.I. Metod polnykh gel'mintologicheskikh vskrytiy pozvonochnykh, vklyuchaya cheloveka. Moskva: Izdatel'stvo MGU, 1928. 45 p.

ROLUL RELAȚIEI BIDIRECȚIONALE DINTRE STRUCTURILE CEREBRALE ȘI MICROBIOTA INTESTINALĂ ÎN MENȚINEREA HOMEOSTAZIEI ORGANISMULUI

THE ROLE OF THE BIDIRECTIONAL RELATIONSHIP BETWEEN THE CEREBRAL STRUCTURES AND THE INTESTINAL MICROBIOTA IN THE ORGANISM'S HOMEOSTASIS MAINTAINING

CZU: [612.82 + 616.34-008.87]:612.06 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.38**

Ana LEORDA
ORCID: 0000-0002-2923-8843
E-mail: leorda-ana64@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Svetlana GARAEVA
ORCID: 0000-0002-9257-5818
E-mail: garaeva.47@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina POSTOLATI
ORCID: 0000-0001-8634-4856
E-mail: galinapostolati@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*The identification of functional systems and mechanisms regulating the body's homeostasis can contribute to the development of procedures and measures to prevent premature degradation of vital functions. The role of the bidirectional relationship between brain structures and intestinal microbiota in maintaining the body's homeostasis has been highlighted. The microbiota-gut-brain axis allows the intestinal flora to influence the physiology and pathology of the brain through the neuroendocrine (neurotransmitters, hormones, humoral factors - GABA, dopamine, acetylcholine, serotonin, tryptophan, melatonin), immunological (cytokines) and metabolic (SCFA, PGN, MDP) pathways. When developing measures to prevent premature degradation of the functions of the gastrointestinal tract, it is necessary to take into account the preservation of the balance between two major intestinal phyla Firmicutes and Bacteroidetes, which will contribute to maintaining the body's homeostasis.*

Keywords**:** *gastrointestinal tract, gut-brain axis, homeostasis, intestinal microbiota, microbial metabolites.*

INTRODUCERE

În cercetările Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie au fost stabilite simptomele degradării precoce biologice și psihice ale organelor și sistemelor organismului uman, condiționate de modificări ale dezvoltării morfofiziologice ontogenetice datorate influenței mediului, condițiilor sociale de viață, nutriției, activității fizice etc. [1]. Identificarea sistemelor funcționale și a mecanismelor de reglare a homeostaziei organismului, poate contribui la elaborarea unor procedee și măsuri pentru prevenirea degradării premature a funcțiilor vitale.

Scopul lucrării a constat în evidențierea rolului relației bidirecționale dintre structurile cerebrale și microbiota intestinală (MI) în menținerea homeostaziei organismului.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Sistemul funcțional de reglare a activității tractului gastrointestinal (TGI) include 3 centre distincte de control: controlul miogenic, hormonal și neuronal (inclusiv sistemul nervos central (SNC), sistemul nervos enteric (ENS) al TGI și sistemul nervos autonom) [2]. Relația bidirecțională dintre structurile cerebrale și TGI, care implică microbiota, îmbrățișează conceptul științific al axei microbiotă-intestin-creier. MI joacă un rol important în multe procese fiziologice și biochimice ale corpului uman, în răspunsul imun și menținerea homeostaziei [3]. Printre multiplele sale funcții, MI ajută la promovarea biodisponibilității unor nutrienți și la metabolizarea alimentelor și protejează mucoasa intestinală de agresiunea microorganismelor patogene, iar prin stimularea producției de mediatori intestinali este capabilă să influențeze SNC. Astfel, axa intestin-creier implică căi neuroendocrine, imunologice și metabolice. Principalele mecanisme includ neurotransmițători microbieni, răspuns inflamator sistemic și metaboliți microbieni. În continuare au fost descrise elementele principale, care mediază interrelația creier-microbiom:

a) Legături nervoase (*n. vagus*). Nervul vag servește ca o autostradă bidirecțională importantă care leagă creierul de intestin. Fibrele aferente ale nervului vag provin din mușchiul neted intestinal și transmit informații de la intestin la SNC. În plus, acest nerv poate detecta mesajele parvenite și apoi le poate transmite înapoi la intestin, eliberând metaboliți derivați din bacterii, cum ar fi acizi grași cu lanț scurt (SCFA), acidul gama-aminobutiric (GABA), serotonina (5-HT) sau hormoni intestinali [4].

b) Molecule de semnalizare imune (citokine). În mucoasă, celulele T și celulele B ale sistemului imunitar sunt esențiale pentru menținerea homeostaziei imune prin suprimarea reacțiilor la antigene inofensive și menținerea integrității funcțiilor barierei mucoasei intestinale. Imunitatea și homeostazia gazdei sunt reglate de metaboliții produși de MI, care s-a dezvoltat prin coevoluția pe termen lung a gazdei și a biomului intestinal. Acest lucru se realizează prin toleranța sistemului imunologic pentru microbiota simbiotică și capacitatea sa de a genera un răspuns proinflamator împotriva organismelor invazive. Dezechilibrul sistemului imunitar intestinal cu organismele comensale

provoacă o perturbare a homeostaziei MI. Lipsa de echilibru are ca rezultat disbioza, slăbirea integrității barierei intestinale și dezvoltarea de reacții imune inflamatorii față de organismele simbiotice [5]. MI prezintă un echilibru delicat între factorii pro- și antitumorigenici, iar răspunsurile îmbunătățite la imunoterapie sunt legate de o microbiotă diversă, care este corelată cu o activare a celulelor T citotoxice. În plus, prin stimularea activării celulelor T, bacteriile precum *Lactobacillus rhamnosus* și *Bifidobacterium bifidum* cresc producția de citokine și îmbunătățesc eficacitatea inhibitorilor punctelor de control imun [6]. MI modulează activitatea astrocitelor din creier, care sunt capabile să recunoască antigenul și să producă citokine, modulează activarea și maturarea celulelor imunocompetente periferice [7].

c) Axa hipotalamo-hipofizo-suprarenală (HPA). Unul dintre principalele sisteme neuroendocrine care răspund la stres este axa HPA, care produce glucocorticoizi precum cortizolul la oameni și corticosteronul la rozătoare. Concentrațiile adecvate de cortizol sunt esențiale pentru neurodezvoltarea normală, precum și pentru procesele cognitive în creier, iar studiile au arătat că microorganismele modulează axa HPA pe tot parcursul vieții [8]. Un studiu de randomizare mendeliană cu două eșantioane a investigat impactul MI asupra funcției diferitelor regiuni ale glandei suprarenale și a identificat 27 de relații cauzale între 23 de MI și funcția suprarenală. Printre acestea, *Sellimonas* a îmbunătățit funcția zonei cortexului reticular adrenal, iar *Parasutterella*, *Sutterella* și *Anaerofilum* a afectat funcționarea diferitelor regiuni ale glandei suprarenale. Deci, aceste studii au arătat, că MI este asociată cauzal cu funcția suprarenală și astfel pot influența nivelurile hormonilor respectivi [9].

d) Metaboliți microbieni. SCFA sunt o clasă de acizi grași saturați produși de MI prin fermentarea fibrelor alimentare ingerate. MI comunică cu creierul prin producerea a trei acizi grași concomitent și prin calea de semnalizare a axei intestin-creier, care permite schimbul bidirecțional de semnale. Acidul acetic, acidul propionic și acidul butiric se găsesc în colon și reprezintă principala sursă de energie pentru celulele sale. Aceștia interacționează pentru a gestiona homeostazia intestinală prin intermediul unor receptori (receptorii celulelor T, receptorii cuplați cu proteinele G (GPR41 și GPR43)) și prin reglarea epigenetică [10]. SCFA pot ameliora simptomele bolii Alzheimer, reduc secreția de citokine proinflamatorii, scad acumularea de beta-amiloid, inhibă stresul oxidativ și producția de specii reactive de oxigen, modulează eliberarea de acetilcolină, scad suprafosforilarea proteică, duc la creșterea plasticității sinaptice și îmbunătățirea rezistenței la insulină. În plus, ajută la menținerea echilibrului MI și oferă feedback negativ, ceea ce susține producția acestora [11].

e) Acizi biliari (AB). Modificările compoziției comunităților microbiene intestinale sunt asociate cu multe boli umane, dar unii factorii care determină disbioza rămân incomplet înțeleși. Unul dintre factorii, care guvernează compoziția MI este bila. AB modelează compoziția microbiotei prin activitatea lor antimicrobiană și prin activarea căilor de semnalizare ale gazdei, care mențin homeostazia intestinală. Deși acizii biliari sunt derivați din gazdă, funcțiile lor sunt legate integral de metabolismul bacteri-

an, care modelează compoziția rezervei de acizi biliari intestinali. Afecțiunile care modifică dimensiunea sau compoziția rezervei de acizi biliari pot declanșa dezechilibrul compoziției microbiotei care exacerbează inflamația sau favorizează infecția cu agenți patogeni oportuniști [12]. AB joacă un rol crucial în apărarea organismului uman împotriva infecțiilor cauzate de bacterii, ciuperci și virusuri. AB contracarează infecțiile nu numai prin interacțiuni cu bacteriile intestinale, care prezintă activitate de hidrolază a sărurilor biliare (BSH), ci combat și în mod direct infecțiile. O investigație aprofundată, privind interacțiunea dintre AB și 16 microbiote a constatat, că *Bacteroides*, *C. scindens*, *Streptococcus thermophilus*, *Saccharomyces boulardii*, *C. butyricum* și bacteriile lactice pot regla metabolismul și funcția BSH și a 7α-dehidroxilazei (enzimă implicată în metabolismul acizilor biliari). BSH și 7α-dehidroxilaza joacă roluri cruciale în conversia acidului biliar primar (PBA) în acid biliar secundar (SBA). Este important de menționat, că PBA promovează în general infecțiile, în timp ce SBA prezintă adesea roluri antiinfecțioase distincte. În impactul antimicrobian al AB, aceștia demonstrează proprietăți antagoniste împotriva unei game largi de microorganisme, cu excepția norovirusurilor. Având în vedere interacțiunea complexă dintre AB și MI și efectele lor de reglare asupra infecțiilor, autorii afirmă, că AB au un potențial semnificativ pentru prevenirea și tratarea infecțiilor microbiene [13].

f) Neuromediatori, hormoni, factori umorali (GABA, dopamină, acetilcolină (ACh), serotonină, melatonină (MEL), triptofan). Anumite bacterii intestinale contribuie la producerea neurotransmițătorilor esențiali, precum serotonina, dopamina și GABA [14]. Ultimul, are un rol important în axa intestin-creier, acționând ca un neurotransmițător, care influențează starea de spirit și reduce anxietatea. Anumite bacterii intestinale pot produce GABA, care apoi pătrunde în creier, fie prin nervul vag, fie prin bariera hematoencefalică. MI (*Bifidobacterium adolescents* și *Lactobacillus plantarum*) produce GABA, care acționează prin receptorii din intestin pe axa intestin-creier în două moduri: 1) ENS recunoaște GABA prin receptori specifici și transmite impulsurile corespunzătoare către creier prin *n. vagus*. 2) Epiteliul intestinal reabsoarbe GABA în sânge și poate sprijini direct efectul anxiolitic și antidepresiv al GABA produs de creier. GABA acționează și la nivelul sistemului imunitar, inhibând eliberarea de citokine proinflamatorii și la nivelul intestinului, reglând motilitatea intestinală. Există o relație puternică între MI și dopamină. Dopamina este transportată la creier prin intermediul căii fenilalanină-tirozină-dopa-dopamină. A fost identificat, că unele microorganisme intestinale au efecte neuroprotectoare asupra neuronilor dopaminergici, încetinind epuizarea dopaminei. Alte bacterii, pe de altă parte, pot avea un impact negativ prin activarea răspunsurilor inflamatorii prin intermediul endotoxinelor, epuizând și mai mult cantitatea de dopamină [15]. ACh joacă un rol crucial în axa intestin-creier, acționând ca un neurotransmițător excitator care afectează SNC și cel periferic și facilitează comunicarea dintre intestin și creier. Aceasta influențează diverse procese, inclusiv motilitatea intestinală, răspunsurile imune și chiar starea de spirit și comportamentul. S-a demonstrat, că ACh este produsă de mai multe bacterii din intestin, inclusiv *Bacillus acetylcholine, Lactobacillus planta-*

rum, Bacillus subtilis, Escherichia coli și *Staphylococcus aureus*. A fost constatat, că *B. subtilis* formează cantități mai mari de Ach, decât *E. coli* sau *S. aureus*. Această formă de acetilcolină acționează în sistemele nervoase enteric și periferic [16]. În unele studii s-a raportat, că serotonina crește permeabilitatea barierei hematoencefalice (BHE), dar nu în toate. Acolo unde s-a observat deschiderea barierei, au existat dovezi pentru activarea receptorilor 5-HT_2 și o creștere a permeabilității dependentă de calciu. Serotonina, ca neurotransmițător, joacă un rol-cheie în reglarea diferitelor procese fiziologice și este strâns legată de axa microbiom-intestin-creier. Microbiomul influențează producția de serotonină, metabolismul precursorilor serotoninei, recaptarea serotoninei și modularea sistemului imunitar. Un microbiom echilibrat este crucial pentru reglarea homeostaziei și a răspunsului la stres, iar compoziția alterată a MI este asociată cu depresie, anxietate, tulburare bipolară, schizofrenie, tulburări legate de stres și tulburări din spectrul autist [17]. Calea indolului este un mecanism pentru coevoluția organismului gazdă și a microbiotei și este asigurată prin producerea moleculelor de semnalizare (indolul și derivații săi, triptamina). Pe de altă parte, triptofanul este metabolizat de microorganisme pentru a forma indol și derivații săi. Numeroase specii bacteriene, inclusiv *Streptococcus, Lactobacillus, Klebsiella* și *Escherichia coli,* au demonstrat proprietăți de sinteză a serotoninei prin intermediul triptofan sintetazei [18]. O analiză a literaturii de specialitate denotă, că diverși metaboliți ai triptofanului mediază axa microbiotă-intestin-creier, jucând un rol important în activitatea SNC [19]. Barierele mucoasei intestinale sunt uneori distruse de bacteriile patogene și produsele acestora, cum ar fi lipopolisaharida, ceea ce duce la creșterea permeabilității epiteliului intestinal, la translocarea produselor toxice în fluxul sanguin și prin bariera hematoencefalică în creier. Bacteriile și/sau produsele acestora din intestin pot provoca reacții inflamatorii cronice în creier, iar aceste reacții, la rândul lor, duc la dezvoltarea leziunilor cerebrale neurodegenerative caracteristice bolii Alzheimer [20]. MI produce peste 90% din totalul serotoninei din organismul uman, un metabolit important care reglează abilitățile cognitive, iar serotonina exogenă poate fi eficientă în reducerea depozitelor de amiloid-beta (Aβ) din creier [21]. Melatonina (MEL) este cunoscută pentru efectele sale antioxidante și antiinflamatorii în aspectele neuroprotectoare. Dovezi recente au demonstrat, că MI joacă un rol-cheie în modelul diabetic prin modularea funcției cognitive prin intermediul interfecțiunii intestin-creier [22]. TGI este evidențiat ca o sursă suplimentară de MEL, iar datorită impactului său asupra MI, poate fi un agent terapeutic valoros pentru diverse afecțiuni asociate cu disbioza. Datorită influenței sale asupra nivelurilor de MEL intestinale, microbiota ar putea fi o posibilă țintă terapeutică pentru tulburări de sănătate legate de dereglarea ritmului circadian [3].

g) Componente ale membranei celulare (peptidoglican (PGN), peptide muramil (MP)). Bacteriile intestinale rezidente oferă o sursă bogată de metaboliți și molecule microbiene, care sunt recunoscute de receptorii de modelelor imune înnăscute ale gazdei. PGN, o componentă majoră a pereților celulari bacterieni, și produșii săi de degradare, inclusiv MP, joacă un rol semnificativ în reglarea MI și a răspunsurilor imune

ale gazdei. În special dipeptidul muramil (MDP) este recunoscut de sistemul imunitar înnăscut, influențând homeostazia imună și având un impact potențial asupra proceselor metabolice. Fragmentele de PGN derivate din MI sunt molecule-cheie de semnalizare, care reglează multiple aspecte ale sănătății gazdei. Cu toate acestea, structurile exacte ale PGN-urilor naturale la gazdă nu au fost pe deplin elucidate. Dizaharida GlcNAc-MurNAc (GM) – un PGN intestinal natural nu activează receptorii asemănători domeniului oligomerizării care leagă nucleotidele *Nucleotide-binding oligomerization domain-like receptors* $(NOD)_{1/2}$, dar prezintă efecte imunostimulatoare exprimate în celulele imune ale gazdei, fiind constatat ca agonist al receptorilor de recunoaștere *Receptors Toll-like* $(TLR)_4$. Administrarea de GM atenuează eficient inflamația colonului în modelul de colită indusă la șoareci prin mecanisme dependente de TLR_4, subliniind semnificația *in vivo* a PGN-urilor naturale derivate din MI în menținerea homeostaziei intestinale a gazdei [23]. Este cunoscut faptul, că proteinele de recunoaștere a peptidoglicanului (PGLYRP) sunt implicate în controlul MI, cu toate acestea, condițiile pentru legarea PGN și mecanismele de semnalizare a receptorilor rămân puțin înțelese. Este important de menționat, că PGLYRP-urile la mamifere pot funcționa ca receptori intracelulari de recunoaștere pentru controlul răspunsurilor de apărare ale gazdei în intestin [24].

CONCLUZII

1. Axa microbiotă-intestin-creier permite ca MI să influențeze fiziologia și patologia creierului prin calea neuroendocrină (neuromediatori, hormoni, factori umorali – GABA, dopamina, ACh, serotonina, triptofanul, MEL), imunologică (citokine) și metabolică (SCFA, PGN, MDP).

2. La elaborarea unor măsuri pentru prevenirea degradării precoce a funcțiilor TGI este necesar de a lua în considerare păstrarea echilibrului dintre două filumuri intestinale majore *Firmicutes* și *Bacteroidetes,* fapt, care va contribui la menținerea homeostaziei organismului.

REFERINȚE:

1. ФУРДУЙ, Ф. И., ЧОКИНЭ, В. К., ФУРДУЙ, В. Ф., и др. Причины преждевременной общебиологической деградации человека, пути ее предупреждения и решения проблемы здоровья с позиции санокреатологии. În: *Buletinul Academiei de Stiințe a Moldovei. Științele vieții*. 2011. 2(314): 4-15.
2. TOBIAS A, SADIQ NM. Physiology, Gastrointestinal Nervous Control. 2022 Sep 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 31424852.PMID: 31424852.
3. SHIROLAPOV I. V., GRIBKOVA O. V., KOVALEV A. M., et al. The interactions along the microbiota-gut-brain axis in the regulation of circadian rhythms, sleep mechanisms and disorders. In: *S.S. Korsakov Journal of neurology and psychiatry*, 2024, vol. 124, no. 5, issue 2, p. 79-86.

4. PRESCOTT SL, LIBERLES SD. Internal senses of the vagus nerve. In: *Neuron*. 2022 Feb 16;110(4):579-599.
5. MOZHDEH HEIDARI, SAMAN MALEKI VAREKI, RAMIN YAGHOBI et al. Microbiota activation and regulation of adaptive immunity. In: *Front. Immunol.* 2024 Vol. 15. https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1429436.
6. FARHADI RAD H, TAHMASEBI H, JAVANI S, et al. Microbiota and Cytokine Modulation: Innovations in Enhancing Anticancer Immunity and Personalized Cancer Therapies. In: *Biomedicines*. 2024 Dec 6;12(12):2776.
7. CHOI J., HUR T. Y., HONG Y. Influence of altered gut microbiota composition on aging and aging-related diseases. In: *Journal Lifestyle Med*. 2018 Jan;8(1):1-7.
8. RUSCH JA, LAYDEN BT, DUGAS LR. Signalling cognition: the gut microbiota and hypothalamic-pituitary-adrenal axis. In: *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023 Jun 19;14:1130689.
9. LIU, T., JI, H., LI, Z. et al. Gut microbiota causally impacts adrenal function: a two-sample mendelian randomization study. In: *Sci Rep.2024 (*14): 23338.
10. BLAAK E.E., CANFORA E.E., THEIS S., et al. Short chain fatty acids in human gut and metabolic health. In: *Benef. Microbes.* 2020. 11 (5), p. 411-455.
11. YAN HUANG, YI FENG WANG, JING MIAO et al. Short-chain fatty acids: Important components of the gut-brain axis against AD. In: *Biomedicine & Pharmacotherapy***.** Volume 175, June 2024, 116601.
12. LARABI AB, MASSON HLP, BÄUMLER AJ. Bile acids as modulators of gut microbiota composition and function. In: *Gut Microbes*. 2023 Jan-Dec;15(1):2172671.
13. LI W, CHEN H, TANG J. Interplay between Bile Acids and Intestinal Microbiota: Regulatory Mechanisms and Therapeutic Potential for Infections. In: *Pathogens*. 2024; 13(8):702.
14. MARGOLIS KG, CRYAN JF, MAYER EA. The Microbiota-Gut-Brain Axis: From Motility to Mood. In: *Gastroenterology*. 2021 Apr;160(5):1486-1501.
15. HAMAMAH S, AGHAZARIAN A, NAZARYAN A, et al. Role of microbiota-gut-brain axis in regulating dopaminergic signaling. In: *Biomedicines*. 2022;10:436.
16. RUEDA RUZAFA L, CEDILLO JL, HONE AJ. Nicotinic Acetylcholine Receptor Involvement in Inflammatory Bowel Disease and Interactions with Gut Microbiota. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(3):1189.
17. MARGOOB, M., et al. Serotonin: The Link between Gut Microbiome and Brain. In: *IntechOpen*. 2024, p. 9-10.
18. ABBOTT NJ. Inflammatory mediators and modulation of blood-brain barrier permeability. In: *Cell Mol Neurobiol.* 2000 Apr;20(2):131-147.
19. ШАТОВА О.П., ШЕСТОПАЛОВ А.В. Метаболизм триптофана: новый

взгляд на роль триптофановых производных в организме человека. В: *Успехи совр. биологии*. 2023. Т.143. №1, с. 3-15.

20. VOGT NM, KERBY RL, DILL-MCFARLAND KA., et al. Gut microbiome alterations in Alzheimer's disease. In*: Sci Rep*. 2017 Oct 19;7(1):13537.
21. ТРЕНЕВА Е. В., БУЛГАКОВА С. В., РОМАНЧУК П. И. и др. Мозг и микробиота: нейроэндокринные и гериатрические аспекты. В: *Бюллетень науки и практики.* 2019. Т. 5. №9, с. 26-52.
22. GAO M, LI J, HAN X, et al. Effect of melatonin on gut microbiome and metabolomics in diabetic cognitive impairment. In: *Front Pharmacol*. 2024 Nov 21;15:1489834.
23. CHENYU LI, CHRISTOPHER ADAMSON, ALLANNG WEE REN, et al. Gut microbiota-derived GlcNAc-MurNAc is a TLR4 agonist that protects the host gut. In: *Biorxiv.* 2024. doi.org/10.1101/2024.11.27.625627.
24. CHEN, S., PUTNIK, R., LI, X. et al*.* PGLYRP1-mediated intracellular peptidoglycan detection promotes intestinal mucosal protection. 2025. In: *Nat Commun.* 16, 1864.

N.B. *Articolul a fost elaborat în cadrul subprogramului 011001: ,,Mecanisme de reglare a homeostaziei organismului și a sănătății și elaborarea procedeelor și măsurilor de menținere a ei”.*

SISTEME DE REGLARE A HOMEOSTAZIEI INTESTINALE ÎN CONDIȚII DE INACTIVITATE FIZICĂ ȘI PSIHICĂ

SYSTEMS FOR REGULATING INTESTINAL HOMEOSTASIS IN CONDITIONS OF PHYSICAL AND MENTAL INACTIVITY

CZU: 611.341:613 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.39**

Ana LEORDA
ORCID: 0000-0002-2923-8843
E-mail:leorda-ana64@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vladimir ȘEPTIȚCHI
ORCID: 0000-0002-6306-7021
E-mail: septitchi@mail.ru
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Experts suggest that mortality attributed to non-communicable diseases will increase to 52 million by 2030, and insufficient levels of physical activity bear a large part of the burden of these diseases. Physical inactivity, which affects intestinal motility, peristalsis, blood supply, as well as the immune system, also has a negative impact on the intestinal microbiota, leading to dysbacteriosis and changes in the composition of microorganisms. Targeted modulation of the gut microbiota offers opportunities for the development of therapeutic tools to optimize (in athletes) or restore muscle function (in patients with diseases affecting skeletal muscles) due to hypoactivity. A pronounced negative impact on intestinal homeostasis is mental inactivity, associated with a sedentary lifestyle and psychological stress.*

Keywords: *gastrointestinal tract, homeostasis, intestinal microbiota, mental sedentarism, physical inactivity.*

INTRODUCERE

O treime din populația globală în vârstă de 15 ani și peste desfășoară activitate fizică (AF) insuficientă, ceea ce afectează sănătatea, iar stilul de viață sedentar reprezintă al patrulea cel mai mare factor de risc de deces din lume [1]. OMS sprijină țările să intensifice AF prin implementarea acțiunilor de politică recomandate, prezentate în Planul global de acțiune al OMS, privind activitatea fizică 2018-2030: mai mulți oameni activi pentru o lume mai sănătoasă [2]. Specialiștii sugerează, că mortalitatea atribuită bolilor netransmisibile va crește de la 38 de milioane în 2012 la 52 de milioane până în 2030, iar un nivel insuficient de AF duce o mare parte din povara acestor boli. Dovezile denotă, că rata nivelurilor insuficiente de AF în țările cu venituri mici și medii a crescut substanțial

în ultimii 15 ani [3]. Studiile mai multor cercetători au elucidat, că nivelurile ridicate de AF sunt asociate cu un risc scăzut de apariție a mai multor boli gastrointestinale (GI), inclusiv boala de reflux gastroesofagian, cancerul esofagian, cancerul colorectal (CCR), colecistita, colelitiaza și steatoza hepatică non-alcoolică. Totuși, mai sunt necesare studii pentru a explora asocierile dintre comportamentul sedentar și riscul de boli GI [4, 5]. În rândul studenților cu vârsta peste 20,5 ani s-a observat o frecvență ridicată a inactivității fizice (76,9%), asociată cu depresie cu severitatea de peste 4,5 puncte pe scala HADS. Studenții din grupul de studiu au prezentat o prevalență ridicată a simptomelor GI (97,8%), dintre care au predominat sindromul de reflux (91,5%), dispepsia (86,3%) și durerile abdominale (83,4%) [6]. În studii recente a fost explorat efectul timpului petrecut în fața ecranelor în timpul liber *leisure screen time* (LST) asupra sănătății GI, comparativ cu timpul AF de intensitate moderată până la viguroasă. AF și comportamentul sedentar sunt invers corelate, ceea ce susține beneficiile independente ale reducerii timpului de sedentarism și promovării AF în prevenirea bolilor GI [4]. Combinând datele a până la 703.901 de indivizi din 51 de studii într-o meta-analiză multi-ancestrală la nivelul întregului genom, s-au depistat 99 de loci, care se asociază cu AF de intensitate moderată până la viguroasă auto-raportată în timpul liber, LST și/sau comportamentul sedentar la locul de muncă. Analizele de randomizare mendeliană arată, că efectele benefice ale unui LST mai mic și ale unui timp mai mare de AF cu intensitate moderată până la viguroasă asupra mai multor factori de risc și boli sunt mediate sau influențate de indicele de masă corporală (IMC) [7]. Un studiu de randomizare mendeliană, a avut scopul de a elucida dacă AF determină o reducere a riscului de CCR, precum și impactul efectelor mediate prin modificările nivelului de grăsime corporală. Au fost utilizate ca variabile instrumentale variantele genetice comune asociate cu AF moderată până la viguroasă auto-raportată, magnitudinea vectorului accelerației AF și timpul sedentar, IMC, procentul de grăsime corporală, circumferința taliei și raporturile dintre grăsimea brațelor, trunchiului și picioarelor. Rezultatele obținute oferă dovezi solide pentru a consolida măsurile de sănătate publică privind prevenirea CCR, care promovează AF la nivel populațional, indiferent de nivelul de grăsime corporală [8]. Au fost studiate efectele a două săptămâni de activitate redusă asupra timpului de tranzit GI la subiecți vârstnici sănătoși, care au practicat în mod regulat exerciții recreative timp de zece ani. Inactivitatea fizică a fost obținută prin restricționarea tuturor tipurilor de exerciții fizice. Timpul de tranzit gură-cec nu s-a modificat în timpul perioadei de inactivitate fizică, iar cel de tranzit colonic total 10,9 ± 2,7 h a fost prelungit semnificativ la 19,5 ± 2,9 h. Aceasta s-a datorat tranzitului încetinit prin segmentele drept și stâng ale colonului. Timpul de tranzit al segmentului rectosigmoid al colonului nu a fost afectat. Astfel, perioada de inactivitate fizică a prelungit timpul de tranzit colonic la subiecții vârstnici activi. Hipodinamia, sau AF insuficientă, are un impact negativ și asupra microbiotei intestinale (MI), ducând la disbacterioză și modificări ale compoziției microorganismelor. Acest lucru se datorează faptului că AF afectează motilitatea intestinală, peristaltismul și alimentarea cu sânge, precum și sistemul imunitar, care este strâns legat de microbiotă. Este cunoscut

faptul, că MI este influențată de AF și dietă și prezintă o interacțiune funcțională cu mușchii scheletici. În schimb, sunt disponibile puține date privind impactul hipoactivității, deși stilul de viață sedentar este răspândit și se răsfrânge asupra sănătății și a situației socio-economice. Un studiu a determinat efectul imersiunii uscate (IU), un model de hipoactivitate severă, asupra compoziției MI umane. Probele de fecalii au fost colectate de la bărbați sănătoși înainte și după 5 zile de IU pentru a determina profilurile taxonomice ale MI prin secvențiere metagenomică 16S în condiții dietetice strict controlate. Indicii de diversitate α și β au rămas neschimbați. Cu toate acestea, unitățile taxonomice asociate cu ordinul *Clostridiales* și familia *Lachnospiraceae*, aparținând încrengăturii *Firmicutes* au fost semnificativ crescute după IU. Propionatul, un acid gras cu lanț scurt metabolizat de mușchii scheletici, a fost substanțial redus în probele fecale post-IU. Constatarea, că bacteriile intestinale sunt sensibile la hipoactivitate ridică întrebări cu privire la impactul și rolul lor în stilul de viață sedentar cronic [9]. Astfel, unii autori susțin ipoteza, că modularea țintită a MI este esențială pentru funcția musculară și performanța fizică, ceea ce oferă oportunități pentru dezvoltarea de instrumente terapeutice pentru utilizarea MI cu scopul de a optimiza (la sportivi) sau de a restabili funcția musculară (la pacienții cu boli care afectează mușchii scheletici, cum ar fi miopatiile, cașexia, sarcopenia sau la cei cu mușchi „decondiționați") din cauza hipoactivității [10]. Pe de altă parte, efectele hipoactivității asupra MI umane rămân în mare parte insuficient studiate. Date limitate sugerează, că bacteriile intestinale sunt sensibile la microgravitație, deoarece a fost demonstrat, că zborurile spațiale afectează compoziția MI a astronauților [11]. Tractul gastrointestinal (TGI) este un țesut cu proliferare și regenerare ridicate. Comunicația microbiom-intestin include un schimb dinamic de mediatori de semnalizare, generați de metabolismul bacterian și intestinal. Mai mult, microbiomul inițiază și menține mediul hipoxic al intestinului, esențial pentru absorbția nutrienților, funcția barierei intestinale și răspunsurile imune înnăscute și adaptative în celulele mucoase ale intestinului. Răspunsul la hipoxie este mediat de factorii inducibili de hipoxie (HIF). În condiții hipoxice, activarea HIF reglează expresia unei cohorte de gene, care promovează adaptarea la hipoxie. Cu toate acestea, activarea cronică a HIF exacerbează afecțiunile, ducând la leziuni intestinale, inflamații și CCR [12]. Supraviețuirea și funcționarea celulelor depind de oxigen, iar când organismul devine hypoxic sunt afectate organele, țesuturile și celulele ceea ce poate provoca daune ireversibile. MI joacă roluri diferite în condiții hipoxice, iar produsele și metaboliții săi interacționează cu țesuturile sensibile [13]. Unii autori au elucidat modificările MI în diferite condiții hipoxice. În ceea ce privește mediul extern, altitudinea a fost principala cauză a hipoxiei induse. Odată cu creșterea altitudinii, hipoxia se agravează, iar între timp MI s-a schimbat și ea evident. Mediul intern al corpului devine hipoxic din cauza unor boli (cancerul, enterocolita necrozantă neonatală, COVID-19). Pe lângă boala în sine, apariția unui mediu hipoxic afectează direct sau indirect compoziția și abundența MI. Hipoxia duce la îmbogățirea cu *Prevotella in vivo* – un indicator al stresului oxidativ, ceea ce promovează disfuncția barierei mucoasei intestinale și inflamația [14]. Rezultatele expunerii la altitudini mari

sugerează, că hipoxia induce modificări ale compoziției MI, ceea ce poate afecta metabolismul gazdei. Studiul impactului hipoxiei intermitente (IH), timp de șapte zile consecutive, asupra compoziției MI la bărbații cu supraponderalitate și/sau obezitate denotă, că IH nu afectează diversitatea microbiană α și β, dar a redus abundența relativă a familiilor bacteriene *Christensenellaceae* și *Clostridiaceae*. IH a crescut semnificativ multiplicarea bacteriilor anaerobe obligatorii, fapt asociat cu modificări ale parametrilor metabolici, cum ar fi sensibilitatea la insulină, nivelurile plasmatice de insulină, acizi grași, triacilglicerol, lactat, precum și oxidarea substratului. Astfel, expunerea la IH induce efecte modeste asupra compoziției MI la om, deplasând mai multe familii și genuri bacteriene către abundențe mai mari de bacterii producătoare de butirat. Mai mult, efectele induse de IH asupra compoziției microbiene fecale au fost asociate cu parametri legați de homeostazia glucozei și lipidelor [15]. Exercițiile fizice afectează eliberarea diferiților hormoni, inclusiv a celor implicați în reglarea apetitului și a sațietății (grelină și leptină). AF redusă poate perturba echilibrul acestor hormoni, afectând potențial aportul alimentar și cheltuielile energetice. Un studiu cu implicarea oamenilor cu inactivitate fizică indusă de repausul la pat cu capul în jos la 26° a sugerat, că aceasta nu a provocat modificări ale concentrațiilor de leptină și grelină [16]. Însă alte studii denotă, că AF redusă poate duce la creșterea nivelului de grelină, crescând senzația de foame creșterea în greutate. Apetitul, un aspect crucial reglat atât de sistemul nervos central, cât și de hormonii periferici, este influențat de compoziția și dinamica MI. În special, metaboliții generați de MI, inclusiv acizii grași cu lanț scurt, acizii biliari și derivații de aminoacizi, joacă un rol esențial în acest proces complex, ceea ce prezintă oportunități potențiale pentru ameliorarea tulburărilor legate de apetit [17]. AF redusă poate afecta secreția hormonilor – peptida asemănătoare glucagonului-1 (GLP-1) și peptida YY (PYY), care sunt hormoni anorexigeni secretați de celulele intestinale ca răspuns la aportul alimentar și joacă un rol în reglarea motilității GI și a apetitului. O investigație, concepută pentru a determina efectul unui program de dietă și exerciții fizice de 12 săptămâni aplicat persoanelor obeze asupra nivelurilor grelină, GLP-1 și PYY a relevat, că în timp ce nivelurile de grelină la indivizi au scăzut semnificativ după dietă și exerciții fizice, nivelurile de PYY au crescut semnificativ. Cu toate acestea, în ciuda tratamentului aplicat, nivelurile de GLP-1 și PYY la grupul de caz nu au atins nivelurile grupului de control [18]. AF ajută la reglarea nivelului glucozei din sânge prin creșterea sensibilității la insulină. S-a demonstrat, că AF redusă mărește rezistența la insulină, crescând potențial riscul de diabet de tip 2, dar mecanismele moleculare intermediare nu sunt pe deplin înțelese [19]. Eliberarea de cortizol este sub controlul axei hipotalamus-hipofizo-adrenală (HPA). Hormonul de eliberare a corticotropinei (CRH) este eliberat de nucleul paraventricular al hipotalamusului, acționează apoi asupra hipofizei anterioare pentru a elibera hormonul adrenocorticotrop (ACTH), care acționează ulterior asupra cortexului adrenal. Prin mecanismul de feedback negativ, o cantitate suficientă de cortizol inhibă eliberarea atât a ACTH, cât și a CRH. Însă cortizolul poate fi crescut în cazul inactivității prelungite, ceea ce contribuie la creșterea în greutate și la alte probleme de sănătate. Este important de menționat, că

efectele specifice ale AF reduse asupra hormonilor sus-menționați pot varia în funcție de factori individuali precum vârsta, genetica și starea generală de sănătate [20]. Inactivitatea fizică poate favoriza creșterea bacteriilor mai puțin benefice și afecta producția de acizi grași cu lanț scurt, care sunt principalii metaboliți produși prin fermentarea bacteriană a fibrelor alimentare în TGI. Acest lucru afectează motilitatea intestinală, funcția de barieră și metabolismul gazdei, deoarece în condițiile unei AF adecvate acetatul, propionatul și butiratul sunt implicați în reglarea imunității, apoptozei, inflamației și metabolismului lipidic [21]. Sunt necesare studii multi-omice axate pe eșantioane mai mari pentru a clarifica efectele moleculare ale AF și ale comportamentului sedentar asupra comunităților microbiene umane, totuși o meta-analiză sugerează, că nivelurile adecvate de AF sunt asociate pozitiv cu abundența relativă a bacteriilor producătoare de acizi grași cu lanț scurt [22]. Inactivitatea fizică este recunoscută ca o afecțiune, care promovează dezvoltarea inflamației cronice de grad scăzut, bolile netransmisibile și susceptibilitatea la infecții, iar lipsa AF de durată poate contribui la creșterea permeabilității barierei intestinale, îngăduind bacteriilor și toxinelor acestora să pătrundă în fluxul sanguin și să provoace inflamații sistemice. Anxietatea și stresul mental, starea nutrițională precară, consumul de droguri și tulburările ritmului circadian pot agrava și mai mult daunele cauzate de inactivitatea fizică [23]. Sedentarismul mental reprezintă implicarea în activități, care necesită un efort cognitiv minim, ceea ce duce la o lipsă de stimulare mentală. Aceasta poate include consumul pasiv de media, fără o gândire critică. Inactivitatea mentală, adesea asociată cu un stil de viață sedentar și stres psihologic, poate avea un impact negativ asupra homeostaziei intestinale [1]. Această perturbare este mediată în principal prin axa creier-intestin, unde factorii de stres psihologic influențează compoziția și funcția MI, conducând potențial la inflamații și la afectarea integrității barierei intestinale [24]. Un risc major reprezintă inactivitatea psihică, asociată cu un stil de viață sedentar în lipsa stimulării cognitive. Acesta include perioade prelungite de inactivitate, izolare socială și anumite afecțiuni mintale, cum ar fi depresia [25]. La persoanele în vârstă, trei ore de stat pe scaun nu au influențat performanța cognitivă sau perfuzia cerebrală, însă aceasta a provocat creșterea tensiunii arteriale și a rezistenței cerebrovasculare, despre care se știe că au un impact negativ asupra sănătății creierului pe termen lung [26]. Inactivitatea psihică poate exacerba afecțiunile mintale existente și poate crește riscul de a dezvolta altele noi, cum ar fi depresia și anxietatea. Unele investigații au demonstrat, că AF poate influența diversitatea și compoziția MI, care, la rândul ei, agravează depresia prin căi imune, endocrine și neuronale prin axa intestin-creier. Eficacitatea exercițiilor fizice în acest aspect variază în funcție de tipul, intensitatea și durata acestora, în mare parte datorită diferitelor modificări ale MI [27]. Este cunoscut faptul, că stresul psihologic are un impact profund asupra TGI prin intermediul axei creier-intestin. Cu toate acestea, efectele sale asupra celulelor stem intestinale (ISC) și implicațiile rezultate pentru homeostazia intestinală rămân puțin înțelese. Rezultatele denotă o reducere notabilă atât a cantității, cât și a capacității proliferative a ISC în condiții de stres cronic, determinată de niveluri ridicate de corticosteron rezultate din activarea HPA [28].

CONCLUZII

1. Inactivitatea fizică de durată la persoanele de diferite vârste inhibă abundența bacteriilor intestinale producătoare de acizi grași cu lanț scurt, implicați în reglarea imunității, apoptozei, inflamației și metabolismului, fapt ce oferă oportunități de utilizare direcționată a MI normale pentru a optimiza sau restabili funcția musculară afectată de hipoactivitate.

2. Inactivitatea psihică, în special când este asociată cu un stil de viață sedentar și stres psihologic, prezintă un impact negativ major, mediat în principal prin axa creier-intestin, asupra compoziției și funcției MI, care la rândul său prin căi imune, endocrine și neuronale poate exacerba afecțiunile mintale existente cum ar fi depresia și anxietatea.

REFERINȚE:

1. PARK JH, MOON JH, KIM HJ, et al. Sedentary Lifestyle: Overview of Updated Evidence of Potential Health Risks. In: *Korean J Fam Med*. 2020 Nov;41(6):365-373.
2. World Health Organization. Geneva: WHO; 2020. *Physical inactivity: a global public health problem* [Internet] https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_inactivity/en.
3. Liu, W., Dostdar-Rozbahani, A., Tadayon-Zadeh, F., et al. Insufficient Level of Physical Activity and Its Effect on Health Costs in Low- and Middle-Income Countries. In: Front. Public Health. 2022, 10, 937196.
4. CHEN J, RUAN X, FU T, et al. Sedentary lifestyle, physical activity, and gastrointestinal diseases: evidence from mendelian randomization analysis. In: *EBioMedicine*. 2024 May;103:105110.
5. GUTHOLD R., STEVENS G.A., RILEY L.M., et al. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016. In: *Lancet Global Health*. 2018;6(10), p. 1077-1086.
6. DOLGUSHINA AI, SELYANINA AA, PAUTOVA AS. Physical inactivity in students: risk factors and association with gastroenterological symptoms. In: *Russian J of Preventive Medicine*. 2022; 25(7), p. 4550.
7. WANG, Z., et al. Genome-wide association analyses of physical activity and sedentary behavior provide insights into underlying mechanisms and roles in disease prevention. In: *Nature genetics.* 2022. 54(9), p. 1332-1344.
8. ZHANG, X., THEODORATOU, E., LI, X., et al. Genetically predicted physical activity levels are associated with lower colorectal cancer risk: a Mendelian randomisation study. In: *British j of cancer.* 2021 *124*(7), p. 1330-1338.
9. JOLLET M, NAY K, CHOPARD A, et al. Does Physical Inactivity Induce Significant Changes in Human Gut Microbiota? New Answers Using the Dry Imm Hypoactivity Model. In: *Nutrients.* 2021 Oct 29;13(11):3865.

10. MARTTINEN M., ALA-JAAKKOLA R., LAITILA A., et al. Gut Microbiota, Probiotics and Physical Performance in Athletes and Physically Active Individuals. In: *Nutrients*. 2020;12:2936.
11. VOORHIES A.A., MARK OTT C., MEHTA S., et al. Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome. In: *Sci. Rep*. 2019;9:9911.
12. SINGHAL R, SHAH YM. Oxygen battle in the gut: Hypoxia and hypoxia-inducible factors in metabolic and inflammatory responses in the intestine. In: *J Biol Chem*. 2020 Jul 24;295(30), p. 10493-10505.
13. HAN N, et al. Hypoxia: The "Invisible Pusher" of Gut Microbiota. In: *Front Microbiol.* 2021 Jul 22;12:690600.
14. KARL JP, BERRYMAN CE, YOUNG AJ, et al. Associations between the gut microbiota and host responses to high altitude. In: *J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2018 Dec 1;315(6), p.1003-1015.
15. VAN MEIJEL, R. L. J., VENEMA, K., CANFORA, E. E., et al. Mild intermittent hypoxia exposure alters gut microbiota composition in men with overweight and obesity. In: *Beneficial microbes.* 2022. 13(4), p. 355-364.
16. DOMINIKA, K, MAKI, S, SATOSHI, I, et al. Leptin and Ghrelin Levels in Humans During Physical Inactivity Induced by Head-Down Bed Rest. In: *Aviation, Space, and Envir Medicine.* Vol. 81, No. 4, April 2010, p.383-386.
17. YU M, YU B, CHEN D. The effects of gut microbiota on appetite regulation and the underlying mechanisms. In: *Gut Microbes*. 2024 Jan-Dec;16(1):2414796.
18. ALYAR G, UMUDUM FZ, AKBAŞ N. Changes in ghrelin, GLP-1, and PYY levels after diet and exercise in obese individuals.In: *Rev Assoc Med Bras.* 2024 Mar 15;70(1):e20230263.
19. YARIBEYGI H, MALEKI M, SATHYAPALAN T, et al. Pathophysiology of Physical Inactivity-Dependent Insulin Resistance: A Theor Mechan Rev Emphas Clinical Evidence. In: *J Diabetes Res*. 2021 Oct 7:7796727.
20. MENNITTI C, et al. How Does Phys Act Modulate Hormone Responses? In: *Biomolecules*. 2024; 14(11):1418.
21. ZHANG, D, JIAN, Y, ZHANG, Y. et al. Short-chain fatty acids in diseases. In: *Cell Com Signal.* 2023. 21, 212.
22. PÉREZ-PRIETO, INMACULADA et al. Physical activity, sedentary behavior and microbiome: A systematic review and meta-analysis. In: J of Science and Medicine in Sport, 2024. Volume 27, Issue 11, p. 793-804.
23. THIAGO T GUIMARÃES, HENRIQUE M DOS SANTOS, RODRIGO T MATTOS Sanctos. physical inactivity, chronic diseases, immunity and COVID-19. In: *Rev Bras Med Esporte.* Vol. 26, No 5, 2020, p. 378-381.
24. MARGOLIS KG, CRYAN JF, MAYER EA. The Microbiota-Gut-Brain Axis: From Motility to Mood. In: *Gastroenterology*. 2021 Apr;160(5):1486-1501.

25. GAJA Z KOCJAN, ANDREJA A, TINA KAVČIČ. Feeling too low to be active: Physical inactivity mediates the relationship between mental and physical health. In: *Social Science & Med.* Volume 341, January 2024, 116546.
26. MAASAKKERS, C.M., et al. The short-term effects of sedent behaviour on cerebral hemod and cognitive perform in older adults: a cross-over design on the pot impact of mental and/or phys activity. In: *Res Therapy.* 2020, 12, 76.
27. MINGCHEN YAO, YAQI QU, YALIN ZHENG, et al. The effect of exercise on depression and gut microbiota: Possible mechanisms. In: *Brain Research Bulletin*. Volume 220, January 2025, 111130.
28. SHENG, X., JIN, L., YAO, Z. et al. Psychological stress-induced systemic corticosterone directly sabotages intestinal stem cells and exacerbates colitis. In: *Cell Discov.* 2025. 11, 46.

N.B. *Articolul a fost elaborat în cadrul subprogramului 011001: Mecanisme de reglare a homeostaziei organismului și a sănătății și elaborarea procedeelor și măsurilor de menținere a ei.*

CREŞTEREA EFICIENŢEI PROGRAMELOR DE PROFILAXIE, TRATAMENT ANTICANCERIGEN ŞI REABILITARE PRIN PREVENIREA SAU ATENUAREA SEVERITĂŢII TULBURĂRILOR NEUROLOGICE ŞI MINTALE

INCREASING THE EFFECTIVENESS OF PROPHYLAXIS, ANTICANCER TREATMENT, AND REHABILITATION PROGRAMS THROUGH THE PREVENTION OR MITIGATION OF THE SEVERITY OF NEUROLOGICAL AND MENTAL DISORDERS

CZU: 616.8 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.40**

Ion MEREUȚĂ
ORCID: 0000-0002-9711-5351
E-mail: ion.mereuta@sti.usm.md
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Anatolie BACIU
ORCID: 0000-0003-1966-4176
E-mail: anatolikbacio@gmail.com
Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *A systemic synthesis based on a review of scientific literature, revealing an attempt to improve the program of cancer prevention, treatment, and rehabilitation through targeted intervention in daily lifestyle, aimed at correcting circadian biorhythm desynchronization caused by occupational activity. The general objective was to develop conceptual and strategic solutions for the potential development of prevention, cancer treatment, and rehabilitation programs, based on the prevention and mitigation of the severity of neurological, mental, and emotional disorders in individuals.The priority measure proposed for anticancer programs is based on minimizing the risk of developing neurological and mental disorders through a chronotherapeutic approach to correcting circadian desynchronization caused by professional activity. The next measure, implemented within the programs, targets an adaptogenic training intervention focused on gas exchange processes, which enhance the tolerance of neural structures to hypoxia/hypercapnia.*

Keywords: *mental, circadian, shift work, hypoxia/hypercapnia, cancer.*

INTRODUCERE

Conform datelor Institutului de Măsurare și Evaluare a Sănătății, tulburările mintale și maladiile neurologice se numără printre primele 10 afecțiuni care cauzează pierderea sănătății, reducerea capacității de muncă și a funcționalității comunității umane.

Împreună cu anxietate și depresie, acestea sunt cele mai frecvente în diferite grupe de vârstă din diverse regiuni la nivel mondial. Conform datelor din anul 2021, 13,9% din populația mondială suferă de boli mintale, iar 17,2% dintre persoanele cu dizabilități au tulburări mintale. Mai mult decât atât, bolile neurologice reprezintă a treia cauză de dizabilitate și deces prematur în țările Uniunii Europene, iar proporția persoanelor afectate crește odată cu înaintarea în vârstă. Conform datelor din 2017, în țările Uniunii Europene, „povara maladiilor neurologice" (morbiditate, prevalență, mortalitate, ani de viață ajustați pentru dizabilitate – DALY) a afectat 21 de milioane de persoane. În regiunea europeană a OMS (Europa de Vest, Centrală și de Est), numărul a ajuns la 41 de milioane de persoane, iar la nivel mondial – 280 de milioane de persoane [1, p.13]. Principala cauză este accidentul vascular cerebral ischemic și hemoragic, asociat cu degenerarea malignă a țesutului cerebral, precum și tumorile cerebrale și tulburările mintale în timpul terapiei anticancerigen.

Aceste date sunt extrem de alarmante și impun luarea unor măsuri concrete pentru a identifica toate legăturile cauzale de natură epidemică ale acestor afecțiuni, precum și pentru a promova și implementa programe inovatoare de prevenție, neuroprotecție și neuroreabilitare. Activitatea forțată și intensă și comportamentul alimentar în perioada somnului (pe timpul nopții), asociate cu activitatea profesională în schimburi, contribuie la procesul de cancerogeneză în țesutul glandei mamare, de exemplu, la femeile care lucrează în industria textilă sau la personalul medical aflat în serviciu permanent [2, p.385]. Având în vedere răspândirea largă a acestui tip de activitate profesională, devine evidentă necesitatea stringentă de elaborare și fundamentare științifică a unor recomandări, precum și a unui set de măsuri preventive, programe recreaționale și de reabilitare, bazate pe soluții raționale moderne și inovații. Studiile experimentale și epidemiologice oferă o oportunitate reală pentru elaborarea detaliată a programelor de prevenție, menite să împiedice efectele nocive ale activității profesionale și ale comportamentului alimentar nocturn asupra țesuturilor hormonodependente (glanda mamară la femei și prostata la bărbați) [3, p.2408]. Obiectivul general a constat în elaborarea unor soluții conceptuale și strategice pentru posibilă dezvoltare a programelor de prevenție, tratament a cancerogenezei și reabilitare, bazate pe prevenirea și atenuarea gradului de severitate a tulburărilor neurologice, mintale și emoționale la indivizi.

MATERIAL ŞI METODĂ

A fost realizată o sinteză sistematizatoare pe baza unei analize a surselor disponibile din literatura științifică, accesate din baze de date globale: PubMed Central® (National Library of Medicine, NLM); Scopus; Web of Science; Google Scholar.

Pentru realizarea căutării au fost utilizate cuvinte-cheie și expresii-cheie precum: „manufactory circadian cancer"; „textile circadian cancer"; „shift work breast cancer"; „circadian oscillator hormone-dependent cancer genesis"; „neuron neuroglia hypoxia cancer". Nu au fost aplicate restricții de căutare, precum „animal", „human", „research", „original data", „review" – toate sursele disponibile au fost incluse în căutare. Au fost

consultate în total 117 de surse, a fost realizată o analiză a datelor disponibile și a fost elaborată o sinteză care reprezintă o încercare de a atinge obiectivele propuse.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru a asigura fundamentarea formulării ideilor și conceptelor, precum și adecvarea abordării metodologice, a fost selectat un volum considerabil de date din publicații științifice moderne, care analizează în profunzime mecanismele subtile ale acțiunii benefice sau distructive a factorilor de mediu și activității cotidiene asupra mecanismelor de neuroplasticitate, neuroregenerare și, invers, de neurodegenerare. Lucrătoarele angajate în industria lânii, bumbacului, fibrelor mixte și întreținerii mașinilor au un risc ridicat de a dezvolta cancerul glandei mamare [4, p.353]. În rândul femeilor de diferite calificări în producția de textile, riscul crescut de apariție a cancerogenezei în țesutul glandei mamare se datorează programului de lucru de noapte și expunerii la diferiți compuși chimici utilizați în industria ușoară. Acești compuși chimici sunt foarte toxici, mutageni și cancerigeni, care își exercită acțiunea prin intermediul mecanismelor de reglare nervoasă și neuroendocrină, provocând neurodegenerare [5, p. 3]. Industria ușoară (textile, mătase, îmbrăcăminte, încălțăminte) este una dintre cele mai importante industrii din Lume și tradițional din Republica Moldova. Expunerea la munca în ture și alimentație nocturnă, asociate cu impactul iluminării artificiale și câmpului electromagnetic sunt factori de risc pentru dezvoltarea desincronozei circadiene și cancerului glandei mamare în rândul lucrătorilor din industria ușoară și angajaților care își îndeplinesc atribuțiile în regim de lucru permanent (24/24). În special, industria textilă este un mediu deosebit de potrivit pentru studierea acestor relații, deoarece implică cele mai înalte niveluri de expunere la câmpul electromagnetic care apar în medii industriale sau rezidențiale. Măsura prioritară în cadrul programului care reglementează activitatea cotidiană pentru prevenirea tulburărilor neurologice și mintale – și, prin aceasta, pentru prevenirea transformărilor neoplazice ale țesuturilor – constă în limitarea muncii și a îndeplinirii atribuțiilor de serviciu în timpul nopții. Având în vedere că munca nocturnă are un caracter forțat, este necesară organizarea unor perioade de recreere, cu aplicarea corectă a procedurilor recreaționale. Toate eforturile de prevenție ar trebui să țină cont și de alte riscuri de sănătate cunoscute și suspectate asociate cu cancerul glandei mamare. Aceste riscuri includ tulburările de somn, accidentele la locul de muncă, sindromul metabolic și bolile cardiovasculare. Se presupune că perioada critică în timpul turelor de noapte este de la miezul nopții până la ora 05:00, când efectele nocive ale tulburărilor de ritmicitate circadiană sunt mai profunde și crește riscul de carcinogeneză în țesutul glandei mamare. Cu toate acestea, acest impact poate varia semnificativ în funcție de „cronotipul individual”: timpuriu sau tardiv. De exemplu, conform observațiilor, categoria subiecților cu cronotip tardiv preferă să se culce la numai 2 ore după terminarea turei de noapte [6, p.29, 7, p.219, 8. p.231]. În program luăm în considerare cu strictețe faptul că progresia cancerogenezei în cancerul mamar și apariția metastazelor sunt influențate de desincronizarea internă a ritmurilor circadiene și de reacția de stres declanșată de perturbarea mediului luminos, ie

ciclicităţii lumină/întuneric. Există deja dovezi convingătoare că terapia anticancer distruge desfășurarea naturală a ritmurilor circadiene endogene și, în special, mecanismele de inițiere și menținere a somnului profund cu unde delta (faza a 4-a, somnul non-REM) și a somnului REM. Un astfel de efect secundar se caracterizează prin slăbirea mecanismelor de generare a ritmului delta (0,5–4,0 Hz) și a ritmului theta (4,0–8,0 Hz). Mai mult decât atât, studiile morfologice confirmă afectarea proliferării neuronilor sănătoși din hipocamp și a proceselor de neurogeneză [9. p.3525, 10. p.378]. Aplicarea procedurilor de chimioterapie este însoțită de declinul capacităților cognitive şi echilibrării stării emoţionale, genezei anxietății şi depresiei [11. p.110].

Pentru a asigura individualizarea programelor destinate prevenirii tulburărilor neurologice și mintale, este acceptabilă aplicarea *screening*-ului în timp real al dinamicii zilnice a activității bioelectrice a centrilor de reglare nervoasă centrali și periferici. În ultimii ani, au fost introduse îmbunătățiri în procedura electroencefalografiei (EEG) care permit transmiterea semnalelor neuroelectrice de procesare a informației în formaţiunile cortexului cerebral în câteva milisecunde. Rezoluția temporală şi spaţială ridicată a EEG permite estimarea activității cerebrale spontane și legate de evenimente. După cum se știe, coerența spectrală a EEG este un criteriu normalizat de definire a împerecherii semnalelor electroencefalografice de anumite frecvențe transmise din diferite regiuni ale cortexului cerebral. Coerența spectrală poate servi drept indice al coordonării funcționale a regiunilor cerebrale, al unui bun schimb reciproc de informații și al integrității rețelelor neuronale corticale [13. p.100, 14. p.168]. Un grad scăzut de coerență, în general, reflectă slăbirea conexiunilor funcționale și a transmiterii reciproce de informații între ariile corticale. Detectarea în înregistrările EEG a unei asimetrii a ritmului alfa în regiunile frontale ale cortexului cerebral permite identificarea prezenței depresiei, care se dezvoltă frecvent la pacienți după chimioterapie și radioterapie și împiedică desfășurarea eficientă a programului de reabilitare. În creierul îmbătrânit sau epuizat, chiar și în EEG-ul de repaus, se observă schimbări graduale în profilul și magnitudinea puterii spectrale: o scădere pronunțată a amplitudinii ritmului alfa (8,0-13,0 Hz); o „încetinire" globală a oscilaţiilor în EEG-ul de fond, care se manifestă ca o creștere a puterii și distribuției spațiale a ritmului delta lent (2,0-4,0 Hz) și a ritmului theta (4,0-8,0 Hz) [14. p.163]. Subiecții sănătoși cu vârste cuprinse între 18 și 85 de ani prezintă o scădere dependentă de vârstă a puterii ritmului alfa de frecvență joasă $alfa_1$ (8,0-10,5 Hz) în regiunea occipitală și a ritmului delta. EEG înregistrată în perioada somnului non-REM (somnului cu unde lente) este caracterizat prin prezența unor unde de amplitudine mare (>75 μV) și de frecvență joasă (<4 Hz), precum și a fusiunilor carotidieni (11-15 Hz, >0,25 s). Astfel de oscilații în EEG în timpul somnului non-REM joacă un rol-cheie în plasticitatea neuronală. Atenuarea mecanismelor de neuroplasticitate, de exemplu, odată cu îmbătrânirea sau geneza tulburărilor mintale, este însoțită de modificări ale oscilațiilor din perioada somnului nonREM [14. p.165].

Programul de neuroprotecție și neuroreabilitare ține cont cu strictețe de faptul că schimbările în activitatea bioelectrică EEG reflectă, de asemenea, starea fluxului sanguin cerebral. De exemplu, o creștere anormală a amplitudinii ritmului theta din anumite zone

poate indica prezența unei demențe cerebrovasculare (demență). O astfel de anomalie în EEG este asociată cu o scădere a plasticității neuronale a formațiunilor centrale de reglare din cauza deteriorării fluxului sanguin cerebral regional și a metabolismului [12. p.6, 13, 14]. Este evident că, pentru prevenirea tulburărilor neurologice, mintale şi emoţionale o importanţă determinantă are respectarea regimului circadian şi asigurarea schimbului de gaze, circulației sangvine cerebrale și minimizării probabilității unui accident vascular cerebral. Adaptarea la hipoxie sau combinația hipoxie/hipercapnie intermitente; la un efort fizic aerobic; precum și împădurirea teritoriilor; proiectarea zonelor de parc forestier; refacerea complexelor fluviale, lacustre; proiectarea centrelor de recreere în peisaje naturale au o importanță primordială. În programele de prevenție, tratament a cancerogenezei și reabilitare luăm în considerare că oscilatoarele circadiene interne, centrale din hipotalamus și periferice tisulare, sunt în mod specific sensibile la influențele multimodale ale condițiilor de mediu şi activitate cotidiană, datorită cărora se realizează o coordonare extrem de precisă a acestora în organismul individului [15, p.1015, 16. p.1430].

Este important de menționat că formarea creșterii vasculare dezordonate, necroza, hipoxia și migrația celulară determină natura infiltrativă și prognosticul slab al cancerogenezei, de exemplu, al glioblastoamelor. Luăm în vedere, că glioblastoamele se caracterizează printr-o proliferare vasculară sever afectată și necroză pseudopalisadă. Focarele necrotice hipoxice sunt înconjurate de celule tumorale dense, migratoare, care evită hipoxia. Angiogeneza este necesară pentru o aprovizionare adecvată şi a celulelor tumorale cu oxigen și substanțe nutritive în condițiile predominanței hipoxiei și a migrației lor crescute. Glioblastoamele se numără printre cele mai dependente tipuri de tumori de endoteliu. Prin urmare, utilizarea agenților antiangiogenici în tratamentul tumorilor refractare, în special a inhibitorilor factorului de creștere endotelial vascular (vascular endothelial growth factor, VEGF) este justificată.

Din păcate, tumorile inițial sensibile dezvoltă în cele din urmă rezistență la terapia antiangiogenică, oferind cel puțin o creștere a supraviețuirii fără progresie la pacienții cu glioblastom. În celulele proliferative maligne cu creștere tumorală recurentă în condiții hipoxice, se formează o scădere a dependenței de ciclul acidului citric și de fosforilarea oxidativă în procesele de producere a energiei, precum și o creștere a dependenței de glicoliză și de producția de acid lactic. Condițiile hipoxice din micromediul tumoral determină instabilitatea genomului celular din cauza intensificării producției de specii reactive de oxigen (reactive oxygen species, ROS) și a apariției modificărilor în mecanismele de reparare a ADN-ului deteriorat. Agresivitatea neoplasmelor maligne în timpul hipoxiei crește datorită selecției clonale. În general, sistemul imunitar este susceptibil la acțiunea hipoxiei prin diverse căi, ceea ce conduce la slăbirea răspunsului antitumoral. Creșterea expresiei factorilor induși de hipoxie (hypoxia-inducible factors, HIFs) mediază efectul condițiilor hipoxice asupra celulelor neoplazice. Se știe, că factorii induși de hipoxie declanșează, la rândul lor, expresia a peste 150 de gene ale căror produse coordonează răspunsurile adaptive la hipoxie. Factorul de creștere endotelial vascular, eritropoietina, transferina și receptorii pentru transferină, enzimele necesare pentru glicoliză, factorii

antiapoptotici și mulți factori de creștere sunt transcriși sub influența HIF. Analiza metabolomică a neoplasmelor maligne ale țesutului nervos, cu diferite grade de severitate a hipoxiei în microambientul tumoral, permite identificarea gradului de adaptare hipoxică a celulelor și, prin urmare, a probabilului grad de agresivitate și rezistență la tratament al acestora. Prin urmare, în crearea programelor de prevenție, tratament și reabilitare propunem să se țină strict cont de necesitatea dezvoltării adaptării la hipoxie, pentru a atenua consecințele grave la nivel molecular și celular-tisular, care agravează cancerogeneza și complică terapia anticancer și reabilitarea.

CONCLUZII

Măsura prioritară propusă pentru programele anticancerigene se bazează pe minimizarea riscurilor de dezvoltare a tulburărilor neurologice și mintale printr-o abordare cronoterapeutică în corectarea desincronizării circadiene cauzate de activitatea profesională.

Măsura următoare, aplicată în cadrul programelor, vizează o intervenție adaptogenă prin antrenament asupra proceselor de schimbul de gaze, care sporesc toleranța structurilor nervoase la hipoxie/hipercapnie și astfel modifică semnificativ microambientul tumorii în dezvoltare, prevenind metastazarea.

REFERINȚE:

1. International Agency for research on Cancer. Painting, firefighting and shift work. Lyon: IARC; 2010. p. 9–764. Disponibil: https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Painting-Firefighting-And-Shiftwork-2010 (Accesat: 02.02.2024).
2. BONDE, J.P., HANSEN, J., KOLSTAD, H.A., MIKKELSEN, S., OLSEN, J.H., BLASK, D.E., HÄRMÄ, M., KJUUS, H., DE KONING, H.J., OLSEN, J., MØLLER, M., SCHERNHAMMER, E.S., STEVENS, R.G., ÅKERSTEDT, T. Work at night and breast cancer – report on evidence-based options for preventive actions. In: *Scand J Work Environ Health*. 2012. nr.38, vol.4, pp. 380-390.
3. GRUNDY, A., TRANMER, J., RICHARDSON, H., GRAHAM, C.H., ARONSON, K.J. The Influence of Light at Night Exposure on Melatonin Levels among Canadian Rotating Shift Nurses. In: *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2011. nr.20, vol.11, pp. 2404-12.
4. CAMP, J.E., SEIXAS, N.S., WERNLI, K., FITZGIBBONS, D., ASTRAKIANAKIS, G., THOMAS, D.B., GAO, D.L., CHECHOWAY, H. Development of a cancer research study in the Shanghai textile industry. In: *Int J Occup Environ Health*. 2003. nr.9, pp. 347-356.
5. SINGH, Z. & CHADHA, P. Textile industry and occupational cancer. In: *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2016. vol.11, Article number: 39 (2016).

6. ERREN, T.C., MORFELD, P., GROS, J.V., WILD, U., LEWIS, P. IARC 2019: "Night shift work" is probably carcinogenic: What about disturbed chronobiology in all walks of life? In: *J Occup Med Toxicol*. 2019. nr.14, p. 29.
7. SALAMANCA-FERNÁNDEZ, E., RODRÍQUEZ-BARRANCO, M., GUEVARA, M., ARDANAZ, E., OLRY DE LABRY LIMA, A., SÁNCHEZ, M.J. Night-shift work and breast and prostate cancer risk: updating the evidence from epidemiological studies [Trabaho nocturno por turnos y el riesgo de cancer de mama y próstata: actualizando la evidencia a partir de estudios epidemiológicos]. In: *An Sist Sanit Navar*. 2018. nr.41, vol.2, pp. 211-226.
8. FRITSCHI, L., GROS, J.V., WILD, U., HEYWORTH, J.S., GLASS, D.C., ERREN, T.C. Shift work that involves circadian disruption and breast cancer: a first application of chronobiological theory and the consequent challenges. In: *Occup Environ Med*. 2018. nr.75, vol.3, pp. 231-234. Epub 2017 Aug 3.
9. MIRIAM, S., NOKIA, M.L., ANDERSON, T.J. Shors Chemotherapy disrupts learning, neurogenesis and theta activity in the adult brain. In: *Eur J Neurosci*. 2012. nr.36, vol,11, pp. 3521-3530.
10. MONJE, M. & DIETRICH, J. Cognitive side effects of cancer therapy demonstrate a functional role for adult neurogenesis. In: *Behav. Brain Res*. 2012. nr.227, pp. 376-379.
11. LACEFIELD, C.O., ITSKOV, V., REARDON, T., HEN, R. & GORDON, J.A. Effects of adult-generated granule cells on coordinated network activity in the dentate gyrus. In: *Hippocampus*. 2012, nr.22, pp. 106-116.
12. LIZIO, R., VECCHIO, F., FRISONI, G.B., FERRI, R., RODRIGUEZ, G., and BABILONI, C. Electroencephalographic Rhythms in Alzheimer's Disease. In: *Int J Alzheimers Dis*. 2011. nr.2011, Article number: 927573.
13. SAUSENG, P., KLIMESCH, W., SCHABUS, M., DOPPELMAYR, M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. In: *International Journal of Psychophysiology*. 2005. nr.57, vol.2, pp. 97-103.
14. VECCHIO, F., BABILONI, C., FERRERI, F., et al. Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. In: *Clinical Neurophysiology*. 2010. nr.121, vol.2, pp. 163-171.
15. JAMES, F.O., BOIVIN, D.B., CHARBONNEAU, S., BELANGER, V., CERMAKIAN, N. Expression of clock genes in human peripheral blood mononuclear cells throughout the sleep/wake and circadian cycles. In: *Chronobiol Int*. 2007a. nr.24, pp. 1009-1034.
16. JAMES, F.O., CERMAKIAN, N., BOIVIN, D.B. Circadian rhythms of melatonin, cortisol, and clock gene expression during simulated night shift work. In: *Sleep*. 2007b. nt.30, pp. 1427-1436.

NOI ADĂPOSTURI SUBTERANE ALE LILIECILOR (MAMMALIA: CHIROPTERA) ÎN PARCUL NAȚIONAL ORHEI, REPUBLICA MOLDOVA

NEW UNDERGROUND SITES FOR BATS (MAMMALIA: CHIROPTERA) IN ORHEI NATIONAL PARK, REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 599.4:502.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.41**

Victoria NISTREANU
ORCID: 0000-0002-972-96846
E-mail: victoria.nistreanu@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Natalia DIBOLSCAIA
ORCID: 0000-0001-9516-7476
E-mail: natalia.dibolscaia@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Alina LARION
ORCID: 0000-0002-5313-4518
E-mail: alina.larion@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vladislav CALDARI
ORCID: 0000-0002-8114-6751
E-mail: vladislav.caldari@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The studies were performed in May 2025 in two important underground site for bats within Orhei National Parc – Jeloboc limestone mine, that haven't been studied for 60 years, and Furceni limestone mine – new site for bat roosting. The purpose of the study was to evaluate the diversity of bat fauna and to highlight the importance of the underground sites for bat conservation in the central part of the republic. In Jeloboc mine 6 bat species were registered with low number, which prove that the site is used in summer only as temporary roost for resting during the day. In the new site – Furceni mine 3 species were registered and a large maternity colony of the species Rhinolophus hipposideros was recorded, counting about 500 pregnant females. This is the largest known maternity colony of the lesser horseshoe bat in the*

republic. All the species recorded in the mines are listed in the Red Book of the Republic of Moldova. Thus, both sites are important underground roosts for bat conservation in the central part of the republic.

Keywords: *bats, diversity, abundance, limestone mines, Orhei National Park, rare species.*

INTRODUCERE

Parcul Național Orhei este primul și, până în prezent, unicul parc național în republica Moldova. Defileul râului Răut, care străbate teritoriul Parcului este de o importantă majoră pentru conservarea peisajelor și a biodiversității. În versanții calcaroși ai defileului exista multe mine de calcar, în prezent abandonate, care servesc în calitate de adăposturi pentru speciile troglofile de lilieci. În Republica Moldova astfel de mine abandonate reprezintă cele mai importante situri subterane pentru hibernarea, reproducerea și împerecherea speciilor de chiroptere, totodată servind ca adăposturi temporare de vară pentru speciile troglofile și de pădure.

Printre datele existente în secolul trecut poate fi menționată o singură lucrare, în care se regăsesc date privitor la fauna de lilieci din mina de lângă satul Jeloboc colectate în anii 1963-1965 [1]. Date despre mina de lângă satul Furceni nu există în literatura de specialitate. În cercetările recente din cadrul Parcului Național Orhei s-a studiat fauna de lilieci din minele de la Trebujeni și Mășcăuți [2, 3]. În Republica Moldova populează 21 specii de lilieci din 2 familii – Rhinolophidae cu 2 specii și Vespertilionidae cu 19 specii [4]. Dintre acestea 16 specii sunt listate în Cartea Roșie a Republicii Moldova [5], chiropterele fiind ordinul cu cele mai multe specii protejate. Liliecii au anumite preferințe față de tipurile de habitat, adăposturi pentru împerechere, reproducere și hibernare în dependență de specie. Sunt animale vulnerabile la schimbările climatice și antropice, fiind indicatori ai stării ecosistemelor. De obicei, ecosistemele naturale de pe teritoriile parcurilor naționale, rezervațiilor și altor zone protejate sunt preferate de majoritatea speciilor de lilieci.

Scopul studiului a fost evaluarea diversității faunei de lilieci în minele Jeloboc și Furceni și evidențierea importanței acestor situri pentru conservarea chiropterofaunei în Parcul Național Orhei și în partea de centru a Republicii Moldova.

MATERIAL ŞI METODĂ

Studiul s-a efectuat în mai 2025 în minele de calcar abandonate din apropierea satelor Jeloboc (47.365 N, 28.919 E) și Furceni (47.342 N, 28.946 E), situate în malurile calcaroase ale râului Răut la altitudinea de 46 m și 67 m, respectiv (fig. 1). Minele sunt abandonate de peste 70 ani, unele porțiuni sunt destul de vechi și au fost săpate manual. Porțiunile mai noi au fost excavate mecanic și prezintă multiple crăpături pe tavan cu adâncimea de până la 20 cm și lățimea de 4-10 cm. Înălțimea tavanului variază între 1,2 m și 2 m, iar adâncimea minelor este de până la 100 m. În perioada de studiu temperatura aerului la intrare era de 15-17^{o}C, iar la 20 m adâncime – de 12-14^{o}C.



Figura 1. Intrările în minele de la Jeloboc (stânga) și Furceni (dreapta)

Speciile de lilieci au fost evaluate prin observații directe conform metodelor standard utilizate pentru monitorizarea în adăposturile subterane [6, 7]. Toate speciile au fost identificate, indivizii fiecărei specii au fost numărați, s-au înregistrat locurile de adăpostire și activitatea indivizilor. În cazul coloniilor sau agregărilor din câteva zeci de indivizi, la fața locului s-au estimat efectivele pe unitate de suprafață, iar numărarea exactă s-a efectuat cu ajutorul fotografiilor făcute.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Fauna de lilieci din mina Jeloboc a fost reprezentată de 6 specii din familiile Rhinolophidae și Vespertiolionidae: *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800), *Myotis blythii* (Tomes, 1857), *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1819), *Myotis dasycneme* (Boye, 1825), *Plecotus auritus* (Linnaeus, 1758) și *Plecotus austriacus* (Fischer, 1829). Specia dominantă a fost liliacul mic cu potcoavă (*R. hipposideros*) cu 32,14%, urmat de liliacul de apă (*M. daubentonii*) cu 28,6% și liliacul comun mic (*M. blythii*) cu 21,4%. Celelalte specii au avut o abundență redusă (fig. 2). Numărul total de indivizi a fost mic, doar 28 de lilieci, ceea ce denotă că mina este un adăpost de vară temporar al liliecilor. Toți indivizii au fost găsiți solitar în fisuri sau găuri.

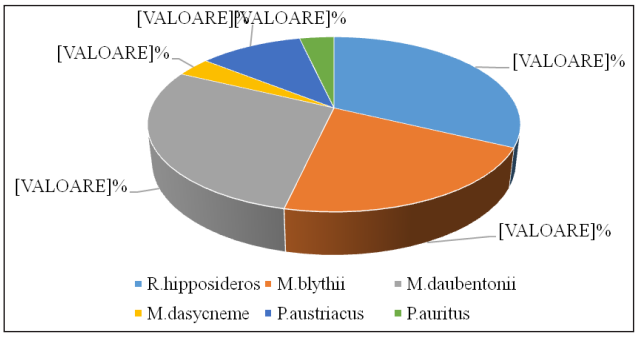


Figura 2. Structura comunității de lilieci în mina Jeloboc în mai 2025

În cercetările efectuate în anii 1960 în mina Jeloboc în perioada de vară au fost semnalate într-un număr mic doar 3 specii – *R. hipposideros*, *M. blythii* și *M. dasycneme*. Însă, la hibernarea diversitatea a fost mult mai mare, fiind semnalate 7 specii cu un efectiv de peste 60 indivizi [1]. Speciile găsite în trecut, care nu au fost înregistrate în prezent sunt *Myotis mystacinus* (liliacul mustăcios), *Barbastella barbastellus* (liliacul cu urechi late) și *Eptesicus serotinus* (liliacul cu aripi late). Cercetările vor continua în perioada de împerechere (august – septembrie) și în perioada de hibernare pentru a elucida dinamica sezonieră a chiropterofaunei în adăpost.

În mina de la Furceni au fost înregistrate 3 specii de lilieci: *Rhinolophus hipposideros*, *Myotis daubentonii* și *Plecotus austriacus*, ultimele două specii fiind reprezentate de câte un individ. Liliacul mic cu potcoavă a fost reprezentat de cca 500 indivizi, majoritatea femele gestante, care erau active și multe zburau prin mină (fig. 3). Au fost observate câteva grămezi mari de guano, ceea ce denotă faptul că specia utilizează mina pentru nașterea și creșterea puilor de mulți ani.

Colonia găsită este cea mai mare colonie de maternitate a speciei pe teritoriul republicii semnalată până în prezent. În cercetările din ultimii ani au fost găsite colonii de maternitate ale speciei *R. hopposideros* în mina de lângă localitatea Vâșcăuți – cca 40 femele, și în mina din Rezervația Peisagistică Saharna – cca 200 femele [8, 9].



Figura 3. Colonie de maternitate a speciei *R. hipposideros* în mina Furceni

În total în cele două adăposturi au fost semnalate 6 specii de lilieci din două familii: Rhinolophidae și Vespertilionidae. Majoritatea speciilor sunt rare, protejate la nivel național și internațional (tab. 1). În Cartea Roșie a Republicii Moldova [5] sunt listate toate speciile înregistrate în siturile studiate cu criteriile de raritate vulnerabil și periclitat. În țările vecine – în Cartea Roșie a Vertebratelor din România [10] și în Cartea Roșie

a Ucrainei [11] sunt incluse toate speciile de lilieci înregistrate cu diferit statut de raritate. Toate speciile sunt incluse în Anexa II a Convenției de le Berna (specii de animale strict protejate), în Anexa II a Convenției pentru Conservarea Speciilor Migratoare și în Acordul pentru Conservarea Populațiilor de Lilieci din Europa (EUROBATS). În Lista Roșie a IUCN speciile *Myotis blythii* și *M. dasycneme* au categoria de vulnerabile, *Plecotus austriacus* este aproape amenințată, celelalte fiind de preocupare minoră.

Tabelul 1. Speciile de lilieci din siturile studiate și statutul lor de conservare.

Nr.	Specie	CRM	CRVR	CRU	CB	CSM	IUCN
1.	Rhinolophus hipposideros	EN	VU	VU	Anexa II	Anexa II	LC
2.	Myotis blythii	EN	EN	VU	Anexa II	Anexa II	VU
3.	Myotis daubentoni	VU	CR	VU	Anexa II	Anexa II	LC
4.	Myotis dasycneme	EN	CR	CR	Anexa II	Anexa II	VU
5.	Plecotus auritus	EN	VU	VU	Anexa II	Anexa II	LC
6.	Plecotus austriacus	VU	EN	rar	Anexa II	Anexa II	NT

Notă: CRM – Cartea Roșie a Republicii Moldova; CRVC – Cartea Roșie a Vertebratelor din România; CRU – Cartea Roșie a Ucrainei; CB – Convenția de la Berna, CSM - Convenția pentru Conservarea Speciilor Migratoare; IUCN – Uniunea Internațională de Conservare a Naturii, VU – specie vulnerabilă; EN – periclitată, CR – critic periclitată, LC (Least Concern) – preocupare minoră, NT (Near Threatened) – aproape amenințată

Astfel, adăposturile subterane de la Jeloboc și Furceni reprezintă situri de o importanță deosebită pentru conservarea diversității liliecilor din zona centrală a republicii, iar monitorizarea faunei de chiroptere în Parcul Național Orhei și sectoarele adiacente va continuată.

CONCLUZII

În luna mai în mina de lângă s. Jeloboc au fost semnalate 6 specii de lilieci (*Rhinolophuis hipposideros, Myotis blythii, Myotis dasycneme, M. daubentoni, Plecotus auritus, Plecotus austriacus*), dominant fiind liliacul mic cu potcoavă cu peste 32%. Numărul total de indivizi a fost mic, doar 28 de lilieci, ceea ce denotă că mina este un adăpost de vară temporar al liliecilor.

În mina de lângă s. Furceni au fost semnalate 3 specii (*Rhinolophuis hipposideros, M. daubentoni, Plecotus austriacus*). Aici a fost înregistrată cea mai mare colonie de maternitate a liliacului mic cu potcoavă, care număra cca 500 indivizi, fiind cea mai mare dintre cele semnalate până în prezent pe teritoriul republicii.

Toate speciile înregistrate sunt rare, protejate la nivel național, în țările vecine și la nivel internațional. Adăposturile subterane de la Jeloboc și Furceni reprezintă situri de o importanță deosebită pentru conservarea diversității liliecilor din zona centrală a republicii. Este necesară continuarea monitorizării acestor adăposturi subterane.

REFERINȚE:

1. ДОРОШЕНКО А. В. Места обитания и численность летучих мышей Молдавии. В: *Экология птиц и млекопитающих Молдавии*. Кишинев, Штиинца: 1975, с. 82-95.
2. NISTREANU V., ȚURCAN V., LARION A. Diversitatea comunităților de mamifere, reptile și amfibieni din Rezervația Peisagistică Trebujeni. Materialele Conferinței științifice cu participare internațională „Mediu și dezvoltare durabilă", 6-8 octombrie, 2016, p. 314-318. ISBN 978-9975-76-170-3
3. NISTREANU, V., LARION, A., CALDARI, V., DIBOLSCAIA, N. Noi adăposturi subterane ale liliecilor (MAMMALIA, CHIROPTERA) din Rezervația Peisagistică Trebujeni. Revista *Acta et Commentationes*, Exact and Natural Sciences, nr. 1(9), 2020, p. 78-83. ISSN 2357-6284
4. NISTREANU, V., CALDARI, V., LARION, A., DIBOLSCAIA, N. *Liliecii – prietenii noștri necunoscuți.* Broșură. Chișinău: S. n. (Centrul Editorial-Poligraf al USM), 2022, 73 p. ISBN 978-9975-159-98-2.
5. *Cartea Roşie a Republicii Moldova*. ediția a III-a. Chișinău, Ştiinţa, 2015, p. 234-350. ISBN 978-9975-67-998-5
6. BATTERSBY J. (comp.) *Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats.* Eurobats Publication Series No. 5. UNEP/Eurobats Secretariat, Bonn, 2010. 95 p.
7. NISTREANU, V., SAVIN, A., ȚURCAN, V., LARION A., PALADI, V., SÎTNIC, V. *Metode de cercetare în teren a faunei de vertebrate terestre*. Indicație metodică. Chişinău : F.E.-P. "Tipografia Centrală", 2021, 64 p. ISBN 978-5-88554-038-04
8. DIBOLSCAIA N., CALDARI V., LARION A., NISTREANU V. Colonii noi de maternitate a liliecilor în zona cursului mediu al r. Nistru, localitatea Vâșcăuți. In: *Proceedings of International Symposium „Actual problems of zoology and parasitology : achievements and prospect".* 13 October 2017, Chișinău, 2017, p. 387-388. ISBN 978-9975-66-590-2
9. NISTREANU, V., CALDARI, V., LARION, A., DIBOLSCAIA, N. Bat fauna (Mammalia: Chiroptera) from Saharna limestone mines, Republic of Moldova. În: *Buletinul AȘM. Științele Vieții*. 2022, nr.2 (346), p. 64-71. ISSN 1857-064X. https://doi.org/10.52388/1857-064X.2022.2.08
10. MURARIU D. *Mammalia (Mamifere).* În: Cartea Roșie a Vertebratelor din România, editori Botnariuc N., Tatole V. Bucuresti, 2005, p. 16-41. ISBN 973-0-03943-7
11. *Червона книга України*. Тваринний світ, Киев: Глобалколсалтинг, 2009, 489 с. ISBN 978-966-97059-0-7.

N.B. *Studiul a fost efectuat în cadrul subprogramului USM 010701 și contractului nr. 01-23p-096/03-05-2024, finanțat de Fondul Național de Mediu.*

DIVERSITATEA PĂSĂRILOR ACVATICE DIN ECOSISTEMELE ACVA-PALUSTRE ALE LACURILOR DĂNCENI ȘI NIMORENI, R-NUL IALOVENI, REPUBLICA MOLDOVA

DIVERSITY OF AQUATIC BIRDS FROM WATER AND PALUDOUS ECOSYSTEMS OF DĂNCENI AND NIMORENI LAKES, IALOVENI DISTRICT, REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 591.5:639.127.2:574.5(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.42**

Victoria NISTREANU
ORCID: 0000-0002-972-96846
E-mail: victoria.nistreanu@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor SÎTNIC
ORCID: 0000-0001-9516-7476
E-mail: victor.sitnic@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Anatolie SAVIN
ORCID: 0009-0004-6933-4196
E-mail: anatolie.savin@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Alina LARION
ORCID: 0000-0002-5313-4518
E-mail: alina.larion@sti.usm.md,
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Teodor GLĂVAN-CARANGHEL
ORCID: 0009-0004-5496-2288
E-mail: teodor.glavan@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*The studies were performed in 2023-2025 in water and paludous ecosystems of Dănceni and Nimoreni lakes, Ialoveni district in the central part of the Republic of Moldova. In the studied period 34 aquatic bird species from 7 orders were registered. 18 species are summer guests and breeding in the area, while other 16 species have been recorded only at migrations. Among the most common breeding species are the mallard, the coot and the great cormorant, which have large numbers also during migration period. The species Anas querquedula Aythyia ferina, Ardea cinerea, Gallinula chloropus, Podiceps cristatus have breeding flocks of several dozen individuals, while the species were registered in much smaller numbers, of 2-8 breeding pairs. The other species were recorded in the post-breeding period and during passage, including rare species such as Pelecanus onocrotalus, Platalea leucorodia, Recurvirostra avisetta* and *Tringa nebularia. 9 species are listed in the Red Book of the Republic of Moldova and 6 species are protected at international level, being listed in IUCN Red List.*

Keywords: *aquatic birds, diversity, phenology, aquatic ecosystems, Dănceni, Nimoreni, lakes.*

INTRODUCERE

Complexul de lacuri Dănceni – Nimoreni este situat la o distanță de cca 20 km de Chișinău și se întinde pe o distanță de peste 10 km în preajma localităților Dănceni, Suruceni și Nimoreni (fig. 1). Lacurile s-au format prin construcția barajelor în lunca râului Işnovăț în cadrul unui proiect realizat între anii 1960-1980, cu scopul: de a reduce problemele inundațiilor; crearea unei surse mari de apă pentru îmbunătățirea agriculturii colective și pentru pisciculturăexperimentală [1].

Lacurile reprezintă habitate importante pentru cuibăritul și popasul păsărilor acvatice în timpul migrațiilor, însă studii publicate pe această zonă nu există.

Scopul studiului a fost evaluarea în premieră a diversității faunei de păsări acvatice și de baltă și evidențierea importanței lacurilor Dănceni și Nimoreni în calitate de habitate favorabile pentru cuibărit, ca locuri de odihnă și hrănire a păsărilor în timpul migrațiilor și pentru conservarea avifaunei, inclusiv a speciilor rare, în partea de centru a Republicii Moldova.



Figura 1. Locația complexului de lacuri Dănceni - Nimoreni

MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările s-au efectuat în anii 2023-2025 în diverse perioade enologice în ecosistemele acvatice și palustre ale lacurilor Dănceni și Nimoreni. Suprafața oglinzii apei este de cca 350 ha, iar adâncimea maximă este de 11 m în lacul Dănceni.

Speciile de păsări au fost evaluate prin observații directe conform metodelor standard – metoda traseelor și metoda estimărilor din punct fix [2, 3]. În cazul utilizării metodei traseelor, au fost parcurse trasee cu o lungime de la 2 km – 4 km, cu o viteză de 1-2 km/oră de-a lungul malurilor lacurilor. Pentru metoda punctului fix s-au selectat anumite puncte fixe în câteva locuri favorabile pentru observație situate la cca 500 m unul față de altul. În fiecare punct s-au identificat și s-au numărat toate păsările într-un interval de timp de 15-20 minute. Au fost înregistrate speciile de păsări observate, numărul de exemplare din fiecare specie, tipul de activitate și tipul de ecosistem unde au fost observate păsările. Păsările de apă au fost estimate și în timpul odihnei stolurilor pe apă. În vegetația de pe malurile lacurilor s-au căutat coloniile de cuibărit ale speciilor de baltă (stârci, egrete, cormorani). În vegetația acvatică emersă au fost căutate cuiburile lebedei de vară, ale speciilor de rațe, gâște, ale lișiței, găinușei de baltă, etc. Pe solul din apropierea apei și în vegetația ierboasă s-au căutat cuiburi ale călifarilor, pescărușilor, chirighițelor și speciilor limicole. În perioada de studiu deranjul păsărilor a fost redus la minim. Au fost efectuate poze ale indivizilor și coloniilor aflate la mare distanță, după care se numără indivizii pe fotografii la scară mare.

Pentru studiul păsărilor s-a utilizat următorul echipament: binoclu Yukon 12x50, lunetă, aparat foto Nikon DX, Canon EOS, obiectiv Sigma de 500 mm.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În perioada de studiu fauna de păsări acvatice din lacurile Dănceni – Nimoreni a fost reprezentată de 34 specii din 7 ordine (tab. 1). Dintre acestea 18 specii sunt clocitoare în zona lacurilor, iar 16 specii au fost semnalate doar în pasajul post-nidicol și în perioada migrațiilor.

Printre speciile clocitoare cele mai frecvente sunt rața mare, lișița și cormoranul mare, care au efective mari și în perioada migrațiilor. Efective clocitoare de câteva zeci indivizi au și rața cu cap castaniu, rața cârâitoare, stârcul cenușiu, găinușa de baltă și corcodelul mare, iar celelalte specii se întâlnesc în număr mult mai mic, de 2-8 perechi clocitoare.

Cygnus olor a fost evaluată cu un efectiv de 5 perechi clocitoare, preferă să cuibărească la marginea lacurilor, în sectoare dense de stuf, papură sau rogoz, unde își amenajează cuibul masiv. La pasaj a fost înregistrată în număr de la câteva până la 18 exemplare.

Anas platyrhynchos are cea mai mare populație clocitoare în situl studiat și a fost evaluată la 120 perechi. Cuibăresc în stufărișuri, pe sol în vegetație deasă sau la baza tufelor. La pasaj s-au observat acumulări de la câteva zeci până la 500 indivizi.

Spatula clypeata are un efectiv de 8 perechi clocitoare, își amplasează cuibul în apropierea apei, direct pe sol, ascuns în vegetație. La pasaj au fost înregistrate până la 20 exemplare.

Spatula querquedula a fost observată cu un efectiv de 18 perechi clocitoare, cuibărește pe sol în vegetația deasă, de obicei în apropierea apei. La pasaj au fost înregistrate peste 150 exemplare.

Tadorna ferruginea are 4 perechi clocitoare în sectorul lacurilor, iar cuibul este amplasat în cavități din sol, copaci, uneori destul de departe de apă. Este o specie rară, cu 20 ani în urmă fiind semnalate la cuibărit doar 1-3 perechi în Prutul Inferior [4]. Însă în ultimii ani, specia și-a extins aria de cuibărire în centrul și chiar nordul republicii, având o populație clocitoare estimată la 200 perechi [5].

Aythya ferina are o populație clocitoare de 40 perechi, preferă sectoarele mai izolate, cu vegetație bogată și stufăriile din preajma apelor cu o adâncime de 1,5 m. La pasaj au fost înregistrate sute de indivizi.

Phalacrocorax carbo are o populație clocitoare de cca 60 perechi, este o specie colonială, cuibul construit din crenguțe uscate este situat la înălțimi de 2 – 6 m. La pasaj au fost observați câteva zeci de cormorani.

Tabelul 1. Diversitatea speciilor de păsări acvatice din ecosistemele lacurilor Dănceni – Nimoren.

Nr.	Specie	Fenologie		Frecvență	OZ
		LDN	RM		
Ordinul Anseriformes					
1.	Cygnus olor – Lebădă de vară	OV, P	OV, MP, OI	C	P
2.	Anas platyrhynchos – Rață mare	OV, MP	OV, MP	A	H
3.	Anas creca – Rață mică	P	OV	R	H
4.	Spatula clypeata – Rață lingurar	OV	OV	C	H
5.	Spatula querquedula – Rață cârâitoare	OV	OV	C	P
6.	Tadorna ferruginea – Călifar roșu	OV	OV	R	Px
7.	Aythya ferina – Rață cu cap castaniu	OV, P	OV, MP	C	P
Ordinul Suliformes					
8.	Phalacrocorax carbo – Cormoran mare	OV, MP	OV, MP	A	LV
Ordinul Pelecaniformes					
9.	Pelecanus onocrotalus – Pelican comun	P	P	FR	Sa
10.	Botaurus stellaris – Buhai de baltă	OV	OV	C	P
11.	Ixobrychus minutus – Stârc pitic	P	OV	R	LV
12.	Nycticorax nycticorax – Stârc de noapte	P	OV	R	Co
13.	Egretta garzetta – Egretă mică	OV	OV	R	LV
14.	Ardea alba – Egretă mare	OV	OV	C	Co
15.	Ardea cinerea – Stâtc cenușiu	OV	OV	A	P
16.	Platalea leucorodia – Lopătar	P	OV	FR	Sa

Ordinul Ciconiiformes					
17.	Ciconia ciconia – Barză albă	OV	OV	C	P
Ordinul Gruiformes					
18.	Gallinula chloropus – Găinușă de baltă	OV	OV	C	Co
19.	Fulica atra – Lișiță	OV, MP	OV, MP	A	P
Ordinul Charadriiformes					
20.	Gallinago gallinago – Becațină comună	OV	OV	R	H
21.	Calidris alpina – Fugaci de țărm	P	P	FR	A
22.	Limosa limosa – Sitar de mal	P	OV	R	P
23.	Actitis hypoleucos – Fluierar de munte	P	OV	FR	H
24.	Tringa glareola – Fluierar de mlaștină	P	P	C	P
25.	Tringa nebularia – Fluierar cu picioare verzi	P	P	FR	P
26.	Tringa totanus – Fluierar cu picioare roșii	OV	OV	R	P
27.	Vanellus vanellus – Nagâț	OV	OV	C	P
28.	Recurvirostra avosetta- Ciocîntors	P	OV	FR	T-M
29.	Himantopus himantopus - Piciorong	OV	OV	R	Co
30.	Larus cachinnans – Pescăruș pontic	P	OV, P, OI	C	P
31.	Chroicocephalus ridibundus – Pescăruș râzător	P	OV, MP, OI	C	P
32.	Chlidonias niger – Chirighiță neagră	P	OV	R	H
33.	Sterna hirundo – Chiră de baltă	P	OV	R	H
Ordinul Podicipediformes					
34.	Podiceps cristatus – Corcodel mare	OV	OV, P, OI	C	LV

Notă: Fenologie: LDN – lacurile Dănceni-Nimoreni, RM – Republica Moldova, OV-oaspete de vară, MP – migratoare parțial, P – specie de pasaj, OI – oaspete de iarnă;

Frecvență: C-comună; A-abundentă; R-rară; FR – foarte rară;

OZ – Origine zoogeografică: P – palearctic; H – holarctic; M – mediteraneean; Co – cosmopolit; T – turkestanian; Sa – sarmatic; LV – lumea veche; Px – paleoxeric; A – arctic.

Botaurus stellaris a fost evaluat cu un efectiv de 4 perechi clocitoare, își amplasează cuibul pe platforme formate din vegetație acvatică. La pasaj au fost observați până la 10 indivizi

Egretta garzetta a fost estimată la 2-3 perechi clocitoare și are cuiburile pot fi amplasate în stufăriș. Este o specie rară în sectorul lacurilor și a fost observată sporadic la pasaj.

Ardea alba cuibărește în sector în număr de 8-12 perechi, solitar sau în colonii în desișurile de stuf. A fost observată în număr mic, dar constant, practic pe tot parcursul anului, cu excepția lunilor de iarnă.

Ardea cinerea este reprezentat de 10-15 perechi clocitoare, are cuiburile amplasate în copaci, fiind utilizate mai mulți ani la rând. Are o prezență constantă de câteva zeci indivizi, cu excepția lunilor de iarnă.

Ciconia ciconia este o specie antropofilă, 3 cuiburi ale speciei fiind înregistrate în localitățile din preajma lacurilor. La pasaj au fost observate câteva zeci de exemplare.

Fulica atra este o specie larg răspândită cu un efectiv de cca 80 perechi clocitoare în sector, își amplasează cuibul în vegetația de pe malurile lacurilor. A fost observată începând cu luna februarie.

Gallinago gallinago este o specie rară cu 3 perechi clocitoare în sectorul studiat. Cuibul se amplasează pe sol, pe mici proeminențe uscate, bine ascuns în vegetația deasă. A fost observată destul de rar la pasaj.

Tringa totanus este o specie rară cu un efectiv de 4 perechi cuibăritoare, cuibul este amplasat în adânciturile din sol și căptușit cu iarbă uscată. La pasaj au fost înregistrate până la 22 exemplare.

Vanellus vanellus a fost evaluat la 6 perechi clocitoare, cuibul este amenajat în cavități din sol de pe malurile lacurilor. La pasaj a fost observat în număr de cca 60 indivizi în apropierea apei, cât și în terenurile agricole învecinate.

Himantopus himantopus are un efectiv de 18 perechi clocitoare, cuiburile au fost găsite în adânciturile din solul malurilor. La pasaj au fost observați 8-18 indivizi solitari adulți și juvenili.

Podiceps cristatus este o specie clocitoare comună cu un efectiv de 22 perechi. Cuiburile, construite din plante acvatice, sunt amplasate în aglomerații de plantele acvatice. În perioada postnidicolă și la pasaj au fost observați 20-30 indivizi adulți și subadulți.

Celelalte specii au fost înregistrate în perioada postnidicolă și la pasaj, inclusiv și specii rare precum pelicanul comun, lopătarul, ciocîntorsul, fluierarul cu picioare verzi (fig. 2). Pelicanul comun a fost observat pentru prima dată în vara anului 2020, în număr de cca 200 indivizi (fig. 2), după care a fost observat și în ultimii 2 ani în aceeași perioadă cu un efectiv de cca 180 indivizi. O prezență inedită a avut-o lopătarul (*Platalea leucorodia*), specie rară în fauna republicii, semnalat pentru prima dată în iulie 2024.

Din totalul speciilor înregistrate, câteva sunt rare la nivel național și internațional. În Cartea Roșie a Republicii Moldova [6] sunt listate 29 specii de păsări acvatice, dintre care 9 se regăsesc în ecosistemele lacurilor Dănceni – Nimoreni (tab. 2). În Cartea Roșie a Vertebratelor din România sunt listate 7 specii, iar în cea a Ucrainei sunt protejate 5 specii [7, 8].



Pelican comun – *Pelecanus onocrotalus* Ciocântors – *Recurvirostra avosetta*

Figura 2. Specii rare de păsări acvatice la pasaj

Tabelul 2. Statutul de protecție a speciilor de păsări acvatice înregistrate la nivel național și internațional

Nr.	Specie	CRM	CRVR	CRU	IUCN
1.	*Cygnus olor*	VU	-	-	LC
2.	*Tadorna ferruginea*	VU	CR	VU	LC
3.	*Aythya ferina*	-			VU
4.	*Pelecanus onocrotalus*	EN	VU	CR	LC
5.	*Botaurus stellaris*	VU	-	-	LC
6.	*Ardea alba*	EN	CR	-	LC
7.	*Platalea leucorodia*	CR	EN	VU	LC
8.	*Ciconia ciconia*	VU	VU	-	LC
9.	*Recurvirostra avosetta*	VU	VU	EN	LC
10.	*Himantopus himantopus*	VU	CR	VU	LC
11.	*Limosa limosa*	-	-	-	NT
12.	*Tringa totanus*	-	-	-	VU
13.	*Calidris alpina*	-	-	-	NT
14.	*Calidris pugnax*	-	-	-	NT
15.	*Vanellus vanellus*	-	-	-	VU

Notă: CRM-Cartea Roșie a Republicii Moldova (2015), CRVR-Cartea Roșie a Vertebratelor din România (2005), CRU-Cartea Roșie a Ucrainei (2009); VU – vulnerabilă; EN – periclitată; CR – critic periclitată; LC – preocupare minoră (Least Concern); NT – aproape amenințată (Near Threatened).

Conform Listei Roșii a IUCN (Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii) majoritatea speciilor sunt de preocupare minoră (Least Concern), 3 specii sunt vulnerabile, și 3 specii – aproape amenințate.

Lacurile de la Dănceni și Nimoreni întrunesc o faună bogată de păsări acvatice, contribuind la supraviețuirea și conservarea multor specii rare. Monitorizarea avifaunei acvatice necesită a fi continuată, în special în condițiile actuale ale schimbărilor climatice, care provoacă modificări ale structurii comunităților de păsări, ale statutului lor fenologic, ale căilor de migrație tradiționale.

CONCLUZII

În perioada 2023-2025 au fost înregistrate 34 specii din 7 ordine de păsări acvatice și baltă: Anseriformes (7 specii), Suliformes (o specie), Pelecaniformes (8 specii), Ciconiiformes (o specie), Gruiformes (2 specii), Charadriiformes (9 specii, și podicipediformes (o specie). 18 specii sunt clocitoare în zona lacurilor, iar 16 specii au fost semnalate doar în pasajul post-nidicol și în perioada migrațiilor.

Printre speciile clocitoare cele mai frecvente sunt rața mare, lișița și cormoranul mare, care au efective mari și în perioada migrațiilor. La pasaj efective mari au fost

înregistrate la rața mare, rața cârâitoare, pelicanul comun, lișița, becațina comună, nagâțul.

S-au înregistrat 9 specii protejate la nivel național și 6 specii rare la nivel internațional. Lacurile de la Dănceni și Nimoreni întrunesc o faună bogată de păsări acvatice, contribuind la supraviețuirea și conservarea multor specii rare. Este necesară continuarea monitorizării ecosistemelor acvatice și palustre ale complexului de lacuri Dănceni-Ialoveni.

REFERINȚE:

1. Dănceni,Ialoveni.Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/D%C4%83nceni,_Ialoveni. [Accesat: 24.06.2025]
2. BIBBY C., JONES M., MARSDEN S. Expedition Field Techniques: Bird Surveys. Royal Geographical Society, London, 1998. 252p.
3. NISTREANU, V., SAVIN, A., ȚURCAN, V., LARION A., PALADI, V., SÎTNIC, V. *Metode de cercetare în teren a faunei de vertebrate terestre*. Indicație metodică. Chișinău : F.E.-P. «Tipografia Centrală», 2021, 64 p. . ISBN 978-5-88554-038-04
4. MUNTEANU A., ZUBCOV., GUSAN G. ș.a. *Atlasul păsărior clocitoare din Republica Moldova.* Chişinău, 2010. 100 p. ISBN 978-9975-106-10-8
5. NISTREANU, V., PALADI, V., SAVIN, A., LARION, A., SÎTNIC, V., CALDARI, V. *Păsările acvatice și de baltă din bazinul fluviului Nistru și râului Prut.* Indrumar. Chișinău, Tipografia USM, 2024, 84 p. ISBN 978-9975-62-817-4
6. *Cartea Roşie a Republicii Moldova*. ediția a III-a. Chișinău, Ştiinţa, 2015, p. 269-330. ISBN 978-9975-67-998-5
7. Munteanu D. Aves (Păsări). În: Cartea Roșie a Vertebratelor din România, editori Botnariuc N., Tatole V. Bucuresti, 2005, p. 84-172. ISBN 973-0-03943-7
8. *Червона книга України*. Тваринний світ, Киев: Глобалколсалтинг, 2009, 489 с. ISBN 978-966-97059-0-7.

N.B. *Studiul a fost efectuat în cadrul subprogramului USM 010701 și contractului nr. 01-23p-096/03-05-2024, finanțat de Fondul Național de Mediu.*

PARTICULARITĂȚILE METABOLISMULUI AMINOACIZILOR ÎN CONDIȚIILE INFLUENȚEI FACTORILOR EXTREMI ASUPRA ORGANISMULUI

PARTICULARITIES OF AMINO ACID METABOLISM UNDER THE INFLUENCE OF EXTREME FACTORS ON THE ORGANISM

CZU: 612.398.192 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.43**

Lilia POLEACOVA
ORCID: 0000-0001-8212-096X
E-mail: poleacovalilia85@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Svetlana GARAEVA
ORCID: 0000-0002-9257-5818
E-mail: garaeva.47@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina POSTOLATI
ORCID: 0009-0009-0439-8929
E-mail: galinapostolati@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary*.The article examines the particularities of amino acid metabolism under conditions of extreme stress on the body, such as hypoxia, trauma, starvation, heatstroke, or sepsis. These states cause severe metabolic imbalances, especially through intensified protein catabolism, energy deficiency, and the accumulation of toxic metabolites. Amino acids become essential energy sources and precursors for gluconeogenesis. The role of sulfur-containing amino acids (cysteine, methionine, glutathione) is highlighted, along with their impact on immunity, redox balance, and liver and kidney function. Amino acid biomarkers can reflect metabolic dysfunctions and endogenous intoxication.*

Keywords: *amino acid metabolism, catabolism, extreme stress, endogenous intoxication, hypoxia.*

Organismul, expus unor factori externi puternic patogeni sau unor boli evolutive nefavorabile, poate ajunge în stări extreme cu dereglări grave ale metabolismului și funcțiilor vitale, necesitând intervenție terapeutică rapidă [1, 2]. Aceste stări se manifestă prin tensiune maximă a reacțiilor de apărare și perturbări semnificative ale activității vitale. Etiologia factorilor extremi este împărțită în exogenă și endogenă. Factorii exogeni provin din exterior și includ: fizici (forțe mecanice, curent electric, temperaturi ex-

treme, radiații), chimici (lipsa sau excesul de oxigen, dezechilibre metabolice, intoxicații severe) și biologici (infecții microbiene, parazite, ciuperci și toxinele lor). Factorii endogeni provin din interiorul organismului și cuprind: insuficiența funcțiilor organelor, hemoragii masive, excesul produselor imune sau alergice și suprasolicitarea psihică sau traumele psihologice [1, 2].

Este evident că starea extremă este cel mai frecvent asociată cu o reacție de stres. Reacția de stres nespecifică, care se dezvoltă alături de o hiperfuncție compensatorie specifică, în cadrul unui răspuns adaptativ unitar al organismului, asigură datorită efectului catabolic satisfacerea cererii energetice crescute și redistribuirea resurselor plastice [3]. Starea extremă se caracterizează, pe lângă mobilizarea maximă a mecanismelor specifice și nespecifice de compensare, prin manifestări reversibile ale dezadaptării (deficit al rezervelor funcționale neuro-endocrine, dezechilibru energetic, labilizarea membranelor celulare și dereglarea homeostaziei antigen-structurale). Rezistența la influențele extreme este determinată de starea funcțională inițială a persoanei: în special de caracteristicile statutului vegetativ și imun. Creșterea intensității sau duratei acțiunii unui factor ecologic-profesional excepțional determină trecerea de la starea extremă la cea critică [4].

Adaptarea de urgență duce la dereglarea celor mai importanți parametri și constante ale funcțiilor vitale dincolo de limitele intervalului normal, ceea ce se exprimă prin modificarea metabolismului în ansamblu. Metabolismul este un sistem funcțional aflat în dezechilibru, un proces ciclic, reversibil și deschis de oxidare și reducere a substratului hidrocarbonat, cu acumularea energiei protonului dehidrogenat al hidrogenului în legăturile fosfat ale compușilor macroergici (ATP și altele) [5, 6]. Prin urmare, atunci când se analizează stările critice cauzate de influența factorilor extremi, acestea trebuie evaluate în primul rând din perspectiva asigurării energetice: deficitul de energie (hipoergoza) poate apărea nu doar ca o consecință, ci și sub forma unei cantități insuficiente de substraturi de oxidare în celulă (hipoergoză substratală) sau ca hipoergoză enzimatică în cazul inhibării enzimelor celulare, chiar și în condiții de PO_2 normal sau crescut. Cel mai frecvent se observă un deficit energetic rezultat din hipoxie sau dintr-o cantitate insuficientă de substraturi de oxidare în celulă [7].

Aminoacizii reprezintă o componentă esențială a metabolismului, având rol structural, funcțional și energetic, fiind implicați în sinteza proteinelor, mediatorilor și altor metaboliți activi, precum și în generarea de ATP prin conversia lor în glucoză, în special serina, alanina și prolina [8, 9]. Reînnoirea continuă a proteinelor contribuie la reglarea enzimatică și imunitară, iar în condiții extreme, circuitul aminoacizilor este afectat semnificativ, influențând negativ homeostazia metabolică a organismului [10].

Metabolismul este conceput ca un echilibru dinamic între catabolism și anabolism, conform unei perspective dialectice [11]. În condiții de stres, catabolismul se caracterizează prin hiperproducția hormonilor contrainsulari și scăderea efectului anabolic al insulinei [12], iar activarea axei hipotalamo-hipofizo-adrenocorticale determină elibe-

rarea de cortizol și adrenocorticotrop, care stimulează gluconeogeneza din aminoacizi precum glutamina, alanina, glicina și serina, favorizând astfel apariția hipoproteinemiei critice [13].

Tulburările de reglare a metabolismului celular pot afecta utilizarea nutrienților disponibili pentru producerea de ATP sau sinteza proteinelor, iar transportul lor întârziat poate suprima reacțiile adaptive la stres [14]. În cele din urmă, deficitul de energie și nutrienți, reacția inflamatorie sistemică, disfuncția schimbului de gaze și a circulației sanguine duc la modificări metabolice severe [15, 16].

Astfel, una dintre principalele modificări metabolice asociate cu stările critice cauzate de factori extremi este catabolismul proteinelor din organism, în care rata metabolismului proteic poate crește semnificativ. În timpul catabolismului țesutului muscular pe fond de stres, se formează precursori ai gluconeogenezei care ajung în ficat, unde, din aceștia și din alți aminoacizi, se sintetizează glucoză și proteine de fază acută. Totuși, sinteza proteică nu compensează catabolismul crescut al proteinelor musculare și viscerale, ceea ce duce la un bilanț azotat negativ. Modificarea proceselor metabolice reflectă reacțiile neuroendocrine generale ale organismului, orientate spre menținerea volumului sângelui circulant și a funcției sistemului cardiovascular la un nivel care să asigure perfuzia adecvată a țesuturilor.

În condițiile înfometării extreme, când toate rezervele de trigliceride sunt complet descompuse, funcția de asigurare energetică este preluată de proteine: în urma catabolismului acestora, în sânge vor pătrunde aminoacizi care, după pierderea grupării amino, încep să se transforme în acizi grași și să fie utilizați în procesul de β-oxidare. Totuși, aminoacizii sunt folosiți și ca substrat pentru gluconeogeneză, ca material de construcție pentru regenerarea țesuturilor și pentru sinteza imunoglobulinelor. Majoritatea aminoacizilor pot fi considerați potențial glucogeni, iar concentrația valinei, leucinei și izoleucinei crește semnificativ. Aceștia sunt catabolizați predominant în mușchi, devenind sursă de azot pentru transaminarea acidului piruvic în alanină [17]. În consecință, se accentuează cașexia și se dezvoltă sindromul imunodeficienței dobândite, care duce la apariția unei infecții secundare, la dezvoltarea și progresia insuficienței cardiace și, în cele din urmă, poate conduce la moarte. Astfel, în condiții de înfometare, organismul trece la utilizarea substraturilor energetice endogene – glicogen, grăsimi neutre și proteine – datorită acțiunii hormonilor contrainsulari [18].

Pe fondul dezvoltării hipoxiei, calea aerobă a metabolismului se transformă în cea anaerobă, ceea ce este însoțit de acumularea metaboliților. Rezultatul final al acestui autocatabolism este un deficit semnificativ de substraturi proteice sau aminoacizi [19, 20]. S-a demonstrat că expunerea hipoxică extremă de scurtă durată duce la perturbarea metabolismului normal al aminoacizilor aromatici, iar acest lucru nu este asociat cu modificarea activității funcționale a ficatului [8].

Intoxicația organismului în caz de insolație (și în stadiul decompensării intoxicației) este corelată cu gradul de creștere a temperaturii corpului. Intoxicația organismului în cazul insolației este, de regulă, însoțită de hemoliza eritrocitelor, creșterea permeabilității

pereților microvaselor, dereglări ale hemostazei (creșterea vâscozității sângelui, hipercoagulare sistemică, microtromboze) [21].

Expunerile traumatice extreme duc la reacții locale și generalizate ale organismului: reacția sistemului cardiovascular, leziuni toxice secundare cauzate de absorbția produselor de degradare tisulară, răspuns neuroendocrin și reacție metabolică. Stresul metabolic, ca reacție a organismului la stările critice, reprezintă rezultatul hipoxemiei și al unei crize generalizate a microcirculației în condițiile disocierii reacțiilor redox din mitocondrii, ceea ce, din punct de vedere clinic, este însoțit de disfuncții ale sistemelor de circulație sanguină și schimb de gaze [11, 15, 22, 23].

Aminoacizii care au cea mai mare influență asupra stării sistemului imunitar în cazul traumatismelor sunt: metionina, arginina, cisteina, valina și glutamina. Cele mai numeroase corelații cu starea diverselor componente ale imunității au fost identificate în cazul aminoacizilor care conțin sulf, cum ar fi cisteina și metionina. Proporția lor relativă s-a dovedit a fi asociată nu doar cu imunitatea celulară și umorală, ci și cu activarea limfocitelor. Ambii aminoacizi au o acțiune antioxidantă pronunțată, participă la sinteza acizilor nucleici, a colagenului și a multor alte proteine. Influența predominantă a aminoacizilor glucogenici asupra diverselor componente ale imunității poate indica utilizarea preferențială a aminoacizilor liberi pentru obținerea de energie [23].

La pătrunderea în organism din exterior a numeroși xenobiotici sau a substanțelor toxice endogene cu acțiune dezechilibrată poate apărea o intoxicație endogenă ca un proces autocatalitic multifactorial complex, care capătă un caracter universal, în care un rol principal îl joacă fenomenele de distrugere a membranei. Acțiunea factorilor intoxicației endogene este, de asemenea, legată de procesele de activare a peroxidării lipidice în celule, în legătură cu tulburările regionale și organice ale transportului de O_2. În cazul expunerii continue la hipoxie extremă, scade conținutul formei reduse a glutationului în țesuturi, iar modificările funcționale ale hepatocitelor provoacă dereglări ale metabolismului proteinelor, precum și ale reglării activității sistemelor enzimatice.

În cazul apariției șocului septic ca urmare a acțiunii factorilor extremi, se dezvoltă encefalopatia asociată sepsisului [24]. Se constată un dezechilibru între mediatorii proinflamatori și cei antiinflamatori, cu creșterea nivelului mediatorilor proinflamatori, precum și o creștere a raportului aminoacizilor aromatici în plasma sanguină față de aminoacizii cu lanț ramificat. Catabolismul proteic crescut și utilizarea sporită a aminoacizilor cu lanț ramificat ca surse de energie sunt însoțite de eliberarea în sânge a unei cantități semnificative de aminoacizi aromatici. Scăderea nivelului aminoacizilor cu lanț ramificat în plasmă favorizează pătrunderea în sistemul nervos central (SNC) și acumularea în țesutul cerebral a aminoacizilor aromatici. În SNC, fenilalanina inhibă tirozin-3-monooxigenaza, blocând astfel calea de sinteză a neurotransmițătorilor normali, dopamina și noradrenalina. Ca rezultat, metabolismul compușilor inițiali se desfășoară pe o cale alternativă, cu acumularea în SNC a neurotransmițătorilor falși (octopamină, feniletilamină, tiramină). Acești neurotransmițători falși și produsul metabolismului triptofanului, serotonina, care posedă în principal proprietăți inhibitoare,

conduc la suprimarea sistemului nervos, epuizarea creierului și dezvoltarea encefalopatiei [24].

În cazul sepsisului se înregistrează în mod constant scăderea nivelurilor unor aminoacizi precum glutamina, alanina, glicina și alții, în timp ce concentrațiile aminoacizilor aromatici se mențin și chiar au tendința de a se acumula în sânge [13].

Trebuie menționat că citrulina nu face parte din componența proteinelor organismului, însă joacă un rol important în biosinteza argininei, care este principalul precursor al oxidului nitric. În plus, alături de ornitină, este necesară pentru eliminarea amoniacului din țesuturile organismului prin sinteza ureei (ciclul ornitinei) [25].

Valina și fenilalanina susțin funcționarea ciclului Krebs, asigurând gluconeogeneza și sinteza acizilor grași. De asemenea, ele sunt necesare pentru transformarea reciprocă a aminoacizilor și sinteza porfirinelor, componente esențiale ale hemoglobinei. A fost demonstrată existența unor corelații directe între concentrația hemoglobinei și concentrația fenilalaninei, alaninei și argininei în sânge [25].

În cursul evoluției, organismul a dezvoltat mecanisme de protecție împotriva efectelor nocive ale reacției de stres, precum sistemul GABA-ergic, opiații endogeni, prostaglandinele, sistemul antioxidant și cel parasimpatic. GABA, prin conversia sa în acid gamma-oxibutiric în creier, inhibă activitatea structurilor cerebrale, inclusiv a hipotalamusului, prevenind declanșarea reacției de stress [20].

Triptofanul este o moleculă semnal care reglează sinteza proteinei în ficat, fiind precursorul multor compuși biologic activi, inclusiv serotoninei, melatoninei, triptaminei, acidului chinolinic și acidului kinurenic, precum și precursor al cofactorilor (NAD și NADP). Deoarece este un aminoacid esențial și disponibilitatea lui este mai scăzută decât a altor aminoacizi, joacă și un rol limitativ în timpul sintezei proteinelor. Astfel, s-a stabilit că metabolismul triptofanului joacă un rol central atât în organismul normal, cât și în condiții patologice [26].

Este confirmat rolul taurinei în prevenirea apoptozei la nivel endotelial, cauzată de un nivel ridicat de zahăr în sânge, precum și în stimularea secreției de insulină și creșterea sensibilității receptorilor de insulină [27].

În condițiile acțiunii factorilor extremi asupra organismului, un rol deosebit îl joacă statusul antioxidant al celulelor organismului [28]. Sinteza ciclică și degradarea glutationului joacă un rol semnificativ în formarea aminoacizilor glutamină și asparagină, care asigură procesele de transaminare și transformarea glucidelor în glucoză. În plus, glutationul este o rezervă de cisteină în țesuturi, fiind considerat o formă de depozit și transport a cisteinei și servește ca sursă principală de cisteină în majoritatea țesuturilor organismului. Starea statusului antioxidant al celulei, și, prin urmare, starea funcțională a tuturor țesuturilor organismului, în special a ficatului, depinde de echilibrul sistemului „formă oxidată ↔ formă redusă" a glutationului (GSH ↔ GSSG). Analiza rolului biologic al aminoacizilor conținând sulf permite considerarea acestora ca unul dintre mijloacele nespecifice de reglare și menținere a nivelului sanogen al homeostaziei somatovegetative. Din perspectiva principiului sanocreatologic al abordării unificate pentru

evaluarea stării morfofuncționale a organismului, este justificată și întemeiată utilizarea aminoacizilor conținând sulf – homocisteină, glutation și taurină – ca markeri ai nivelului de sănătate [27].

Rolul rinichilor în metabolismul și homeostazia aminoacizilor ce conțin sulf este mare, astfel încât indicatorii metioninei, homocisteinei totale și raporturile acestora pot avea o valoare diagnostică. Raportul Metionină/Homocisteină peste 3,36 poate fi considerat echilibrul minim necesar între acești aminoacizi ce conțin sulf în sânge [29].

CONCLUZII

1. Metabolismul aminoacizilor suferă modificări profunde în condiții de stres extrem (hipoxie, traumă, înfometare, sepsis), manifestându-se prin intensificarea catabolismului proteic, dezechilibru energetic și utilizarea aminoacizilor ca substrat principal în procesele de gluconeogeneză și regenerare.

2. Dezechilibrul între aminoacizii glucogenici, cei cu lanț ramificat și aminoacizii aromatici influențează negativ funcțiile neurologice și poate favoriza apariția encefalopatiei, disfuncțiilor imunologice și a epuizării resurselor plastice ale organismului.

3. Activarea metabolismului azotat se reflectă în creșterea aminoacizilor liberi, acumularea de amoniac și scăderea ureei, indicând prezența unei intoxicații endogene și disfuncții ale ficatului și rinichilor, monitorizabile prin markeri nespecifici precum indicele S și raportul azotului aminic.

4. Aminoacizii care conțin sulf (metionină, cisteină, glutation) joacă un rol esențial în menținerea homeostaziei redox, în protecția antioxidantă și în susținerea funcției imune, fiind biomarkeri valoroși pentru evaluarea stării metabolice în condiții extreme.

REFERINȚE:

1. ПОЛИКАРПОВ, В.В. *Патофизиология экстремальных состояний (шока, коллапса, комы)*. Ярославль, 2000. 179 с.
2. МАРКЕЛОВА, Е.В. и др. *Патофизиология экстремальных состояний: учеб. пособие.* Владивосток, 2010. 116 с.
3. ROZENOVA, M.I. et al. Stress and fear in extreme situations [Elektronnyi resurs]. In: *Journal of Modern Foreign Psychology*. 2020. Vol. 9, no. 1, pp. 94-102.
4. ГАРАЙЗУЕВА, О.В. Физиология экстремальных состояний. В: *Вестник СурГУ. Медицина*. 2010, № 4, с. 15-26.
5. САДЧИКОВ, Д.В., КУЛИГИН, А.В., ЗЕУЛИНА, Е.Е. *Функциональный системный подход к больному в критическом состоянии: учебное пособие*. Саратов: Изд. центр Сарат. гос. мед. ун-та, 2021, с. 369-383.
6. ZEISEL, S.H. A conceptual framework for studying and investing in precision nutrition. In: *Frontiers in Genetics*. 2019, no. 10. 11 p.

7. НИКОНОВ, В., ФЕСЬКОВ, А., КИНОШЕНКО, Е. Аминокислоты – важный компонент парентерального питания при критических состояниях (обзор литературы). В: *Ж. Медицина Невідкладних Станів.* 2006, 6(7), С. 23-27.
8. ЧЕРНЫХ, А.А. Метаболизм ароматических аминокислот при выраженной острой кратковременной экспериментальной нормобарической гипоксии у человека. В: *Экология человека*. 2013, №7, с. 59-64.
9. ЛЫСИКОВ, Ю.А. Аминокислоты в питании человека. В: *Эксперимент. и клинич. гастроэнтерология*. 2012, №2, с. 88-105.
10. КОЛЬМАН, Я., РЕМ, К.-Г. *Наглядная биохимия*. М.: Мир, 2000. 469 с.
11. КУЛИГИН, А.В. и др. Метаболизм у пациентов в критическом состоянии. В: *Ж. Современные проблемы науки и образования*. 2022. № 4, с. 44-51.
12. МАКАРОВСКАЯ, Н.П., КУЗЬМИЧ, В.Г. Диагностический потенциал метода капнографии для оценки выраженности метаболических нарушений у пациентов ОРИТ. В: *Известия Российской военно-медицинской академии.* 2020, Т. 1, № S1, с. 81-84.
13. ARABI, Y.M. et al. Amino acid supplements in critically ill patients. In: *Pharmacol. Res.* 2018, 130, pp. 127-131.
14. WARE, L.B. Biomarkers in critical illness: new insights and challenges for the future. In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2017, no. 196. pp. 944-945
15. ОРЛОВ, Ю.П., СВИРИДОВ, С.В., КАКУЛЯ, Е.Н. Патофизиологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях. В: *Клиническое питание и метаболизм*. 2021, Т. 2, № 2, с. 66-79.
16. WERNERMAN, J. et al. Metabolic support in the critically ill: a consensus of 19. In: *Critical Care Medicine.* 2019, no. 23, p. 318.
17. КУЗЬМЕНКО, Д.И. и др. *Биохимия голодания и ожирения: новые аспекты и перспективы*. Томск: СибГМУ, 2014. 270 с.
18. НЕДОСУГОВА, Л.В. Роль эндокринной системы в поддержании гомеостаза глюкозы в норме и при патологии. В: *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2021, Т. 5, № 9, с. 586-591.
19. ХАДЖИБАЕВ, А.М., АСОМОВ, Х.Х., РИСКИЕВ, У.Р. Роль аминокислотных растворов в лечении пациентов в послеоперационный период. В: Матеріали симпозіуму «*Актуальні питання інфузійної терапії*». 6 жовтня 2013, Київ *Український хіміотерапевтичний журнал.* 2013, №3–4 (30), с. 72-75.
20. ГРАБОВСКАЯ, Е.Ю. *Физиология адаптационных процессов (курс лекций). Учебное пособие.* Симферополь, 2020. 106 с.
21. ЛИТВИЦКИЙ, П.Ф. Нарушения теплового баланса организма: гипертермия, гипертермические реакции, тепловой удар, солнечный удар. Лекция, В: *Вопросы современной педиатрии*. 2010, т. 9 №1, с. 96-102.

22. КУЛИГИН, А.В., ЗЕУЛИНА, Е.Е. *Реанимация и интенсивная терапия у больных в коматозных состояниях: монография*. Саратов: Изд. центр Сарат. гос. мед. ун-та, 2021. с. 74-141.
23. ВОЛОГЖАНИН, Д.А. и др. Белковый обмен и иммунный статус пострадавших при травматической болезни. В: *МЕДЛАЙН.РУ.* 2005, Том 6, с. 530-540.
24. ГАРАЕВА С.Н. и др. Свободные аминокислоты как маркеры интоксикации. În: *Materialele Congresului VII al fiziologilor din republica Moldova*. 27-28 septembrie 2012, Chişinău, 2012, pp. 36-43.
25. ЖЛОБА, А.А., СУББОТИНА, Т.Ф. Метионин и общий гомоцистеин крови у пациентов с артериальной гипертензией в условиях экскреторной дисфункции почек. В: *Клиническая лабораторная диагностика*. 2022, 67(11), с. 625-632.
26. МАЛЬЦЕВА, Л.А. Проблемные вопросы в интенсивной терапии сепсиса и септического шока. В: *Ж. Медицина невікладних станів*. 2015, 4(67), с. 79-84.
27. МИРОНОВ, П.И. и др. Особенности метаболизма аминокислот крови при респираторном дистресс-синдроме новорождённых. В: *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2015, Т. 12, № 4, с. 39-43.
28. ЧОКИНЭ, В.К. и др. Серосодержащие аминокислоты в диагностике, целенаправленном поддержании и формировании здоровья. В: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2011, 3 (315), pp. 15-35.
29. ШЕЙБАК, В.М., ПАВЛЮКОВЕЦ, А.Ю. Триптофан: ключевой метаболит гомеостаза и регулятор функций организма. В: *Гепатология и гастроэнтерология*. 2021. Т. 5, № 2. с. 143-149.

VARIAȚII ALE UNOR INDICI AI STATUSULUI MORFOFUNCȚIONAL ȘI BIOCHIMIC LA CĂPRIOR (Capreolus capreolus LINNAEUS, 1758), PÂNĂ ȘI DUPĂ TRATAMENTUL ANTIPARAZITAR

VARIATIONS IN CERTAIN INDICATORS OF THE MORPHOFUNCTIONAL AND BIOCHEMICAL STATUS IN ROE DEER (Capreolus capreolus LINNAEUS, 1758), BEFORE AND AFTER ANTIPARASITIC TREATMENT

CZU: 591.4:599.735.34 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.44**

Ștefan RUSU
ORCID: 0000-0002-3204-5436
E-mail: rusus1974@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Dumitru ERHAN
ORCID: 0000-0001-9722-4382
E-mail: dumitruerhan@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maria ZAMORNEA
ORCID: 0000-0001-8987-3390
E-mail: mariazamornea@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Oleg CHIHAI
ORCID: 0000-0002-5881-0722
E-mail: olegchihai@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorelia RUSU
ORCID: 0009-0006-2400-7030
E-mail: viorelia1@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ion GOLOGAN
ORCID: 0000-0002-8463-2093
E-mail: gologanionel@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova,
Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The study "Variations in certain morphofunctional and biochemical status indices in roe deer (Capreolus capreolus Linnaeus, 1758), before and after antiparasitic treatment" highlights the variations in morphofunctional and biochemical status indices in roe deer (Capreolus capreolus Linnaeus, 1758), before and after the application of antiparasitic treatment. The general analysis of hematological indices, both initially and after treatment, revealed that in the examined groups of deer, the levels of hemoglobin, erythrocytes, hematocrit, total proteins, albumins, glucose, and cholesterol were lower, while the activity of aspartate aminotransferase, the level of bilirubin, and the number of eosinophils were higher in Group I (infested deer) compared to Group II (non-infested deer).The total number of eosinophils determined in the deer groups showed that, at the initial stage, their level was 22.8% higher (td = 3.2; P ≤ 0.05) in the infested group compared to the non-infested group. After antiparasitic treatment, both groups showed a decrease in the total number of eosinophils. However, on the 7th day after treatment, the eosinophil count remained 25.0% higher (td = 4.2; P ≤ 0.01) in the infested group compared to the non-infested group.*

Keywords: *infestation, roe deer, morphofunctional status, treatment.*

INTRODUCERE

Prezența agenților parazitari în organismul animal determină modificări metabolice semnificative, care se reflectă în special asupra unor parametri ai echilibrului intern (homeostazei). Potrivit unor cercetători din domeniu, expunerea organismului animal la factori de stres, inclusiv la infestarea parazitară, declanșează trei mecanisme fiziologice de reglare – homeostazia, sindromul de evadare și sindromul de adaptare (atât local, cât și general) – menite să contribuie la adaptarea organismului la noile condiții [7].

Helminții prezintă capacitatea de a influența, într-o măsură variabilă, atât răspunsul imun al gazdei, cât și procesele biochimice interne, aspecte care trezesc un interes deosebit în medicina veterinară, atât din perspectivă teoretică, cât și practică. Această influență poate contribui la înțelegerea impactului interacțiunii parazit-gazdă [1, 2].

Sub influența agenților parazitari, în organismul infestat se declanșează reacții nespecifice de natură neuro-endocrino-metabolică, ca răspuns la diverși factori perturbatori, interni sau externi, prin care organismul încearcă să-și mențină funcționarea optimă și să se adapteze la noile condiții de mediu [2, 6].

Încă din prima jumătate a secolului XX, numeroși specialiști în parazitologie au atras atenția asupra efectului patogen exercitat de paraziți, în special în timpul migrației larvare, considerând această influență un criteriu important în definirea fenomenului de parazitism. Cu toate acestea, Dogiel V.A. a susținut că patogenitatea nu trebuie privită ca o caracteristică definitorie a parazitului, argumentând că „... patogenitatea nu este o trăsătură esențială a parazitului..." [7].

Mai mult, unele studii, precum cele ale lui Okafor și colaboratorii săi, au arătat că, în anumite condiții, paraziții pot avea chiar efecte benefice asupra gazdei, cum ar fi stimularea creșterii în greutate. În parazitologia aplicată sunt cunoscute situații în care anumite specii de paraziți contribuie la suprimarea sau inhibarea altor paraziți patogeni, protejând astfel gazda, fie ea animal, om sau plantă [6, 10].

Studierea parazitofaunei speciilor de animale din fauna cinegetică, precum și a interacțiunii dintre parazit și gazdă, reprezintă una dintre direcțiile esențiale ale parazitologiei moderne. Astfel de cercetări oferă perspective aprofundate asupra mecanismelor patogenetice ale parazitozelor, manifestărilor clinice și eficienței tratamentelor antiparazitare [8, 12, 14,].

Cei mai mulți specialiști în parazitologie și helmintologie consideră parazitozele, în special helmintozele, ca fiind factori nocivi ce trebuie înlăturați rapid din organismul gazdă. Totuși, această abordare nu ia întotdeauna în considerare impactul mai larg al eliminării parazitului dintr-un sistem biologic complex. Îndepărtarea parazitului – un component integrat al ecosistemului gazdă-parazit – poate influența echilibrul biologic al gazdei, în special în contextul unei relații evolutive formate în decursul unui proces adaptativ de lungă durată. Din această perspectivă, interacțiunea gazdă-parazit trebuie înțeleasă ca un sistem autoreglator, în care ambele componente dezvoltă mecanisme reciproce de adaptare [3, 5, 10].

Aceste adaptări sunt mai evidente în cazul paraziților obligatorii, care se caracterizează printr-o prolificitate crescută și o capacitate de supraviețuire prelungită, în timp ce gazda, în mod paradoxal, nu dezvoltă imunitate completă față de acești paraziți. Aceste condiții permit persistența parazitului în gazdă și asigură continuitatea ciclului său de viață în natură, prin producerea unui număr mare de ouă și larve.

În timpul infecției parazitare, gazda suferă pierderi importante de nutrienți esențiali – lipide, glucide și proteine – precum și de substanțe biologic active, cum ar fi vitaminele, enzimele și diferiți mediatori biochimici (inclusiv monoamine biogene și lipide funcționale) [10, 15].

Reacțiile gazdei la prezența parazitului sunt diverse și complexe, în special în anumite stadii de dezvoltare ale acestuia. De multe ori, granițele dintre mecanismele defensive celulare și cele tisulare sunt dificil de delimitat, acestea acționând simultan împotriva agentului patogen și a produselor sale toxice.

La scară globală, impactul parazitozelor este alarmant, reprezentând o povară biologică și economică majoră pentru societate. În regiunile cu nivel scăzut de dezvoltare economică, prevalența parazitozelor este semnificativ mai mare, atât la om, cât și la animale și plante, aceste zone fiind caracterizate printr-un grad ridicat de poluare parazitară. Există o legătură directă între sărăcie și răspândirea infecțiilor parazitare, această asociere contribuind la accentuarea problemelor de sănătate publică și la stagnarea dezvoltării socio-economice [4, 12, 13].

Intensitatea și natura acțiunii patogene a paraziților variază considerabil, fiind influențate de numeroși factori, inclusiv cei de natură intrinsecă. În ansamblu, efectul pa-

togen asupra organismului-gazdă este o caracteristică fundamentală și inevitabilă a parazitului. Prin structura lor morfologică, prin particularitățile fiziologice și modul de viață, paraziții determină efecte negative asupra gazdei, fără de care nu ar putea supraviețui. Astfel, patogenitatea reprezintă o trăsătură esențială, permanentă și complexă, prin care paraziții își stabilesc condițiile de existență, în mod frecvent în detrimentul gazdei [2, 12, 13].

Acțiunea patogenă a paraziților este multifactorială și se poate manifesta prin mecanisme diverse: mecanice (prin distrugerea țesuturilor), toxice și chimice (prin secreții sau excreții), alergice (prin stimularea exagerată a sistemului imunitar), reflexogene, nutritive (spoliatoare), infecțioase (prin inocularea altor agenți patogeni) sau imuno-modulatoare – fie prin stimularea, fie prin suprimarea răspunsului imun [9, 12].

Intensitatea, specificitatea și manifestările acțiunii patogene depind de circumstanțe concrete, precum condițiile de mediu, starea generală a gazdei, specia parazitului, și chiar durata interacțiunii. În unele cazuri, efectul negativ este constant, în altele – intermitent. De exemplu, paraziți precum *Coenurus* cu localizare în encefal, sau protozoare precum *Babesia*, care invadează hematiile, pot afecta profund structura și funcțiile vitale ale gazdei, ducând adesea la moartea acesteia, urmată și de dispariția parazitului. În schimb, insecte hematofage precum țânțarii sau simulidele exercită o acțiune patogenă limitată, constând în înțepături, extragerea sângelui și stres fiziologic asupra gazdei.

Această diversitate de moduri prin care se manifestă acțiunea patogenă evidențiază flexibilitatea biologică a paraziților [15, 16].

A considera că patogenitatea nu este o trăsătură a parazitului contrazice datele fundamentale ale parazitologiei. Lipsa efectului patogen, indiferent de intensitate sau durată, exclude în esență statutul de parazit. Totuși, trebuie recunoscut că, în unele cazuri, această acțiune poate avea un efect indirect benefic pentru gazdă, cum ar fi atunci când interferează cu dezvoltarea altor paraziți mai patogeni sau stimulează sistemul imunitar, pregătind organismul pentru o reacție mai eficientă la o viitoare infecție. Astfel de situații subliniază complexitatea și variabilitatea cu care se exprimă potențialul patogen al paraziților [13, 16].

MATERIAL ȘI METODĂ

Studiul s-a desfășurat pe eșantioane biologice recoltate de la exemplare de căprior (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), provenind din diverse ecosisteme naturale și antropizate ale Republicii Moldova. Aceste probe au fost colectate în timpul desfășurării cercetărilor și au fost analizate utilizând metode coproovoscopice (Fulleborn, Darling) și coprolarvoscopice (Popov, Baermann) [8], precum și metode parazitologice parțiale (conform metodologiei K.I. Skriabin) [28], completate prin spălări succesive.

Pentru determinarea intensității infestărilor cu nematode, ouă de fasciole, dicrocelii și oochiști de *Eimeria*, au fost examinate 5 g de fecale în 10 câmpuri microscopice vizuale (mărire 10x40). Identificarea taxonomică a speciilor parazitare s-a efectuat în con-

formitate cu datele sistematice furnizate de *Fauna Europaea*. Evaluarea parazitologică a inclus atât extensivitatea invaziei (EI, exprimată în procente), cât și intensitatea invaziei (numărul mediu de exemplare per animal examinat) [8].

Examinările coprologice au fost efectuate pe un eșantion reprezentativ, care a inclus între 10–20% din totalul populației investigate, fără a depăși 30–50% (maximum 300 de probe) pentru fiecare lot. Având în vedere caracterul neuniform al eliminării elementelor parazitare în cursul unei zile, recoltarea probelor fecale s-a realizat din mai multe emisii, preferabil în decurs de 24 de ore, acestea fiind ulterior omogenizate.

Pentru recoltarea probelor, animalele au fost sedate și imobilizate cu ajutorul unui dispozitiv pneumatic (Dan-inject MOD 1 M), utilizând seringi încărcate cu o soluție injectabilă de Ditilin 1%.

Pentru a evalua impactul mono- și poliinvaziilor asupra unor parametri morfofuncționali și biochimici ai căpriorilor, au fost realizate cercetări aleatorii, axate pe gruparea și analiza rezultatelor în raport cu obiectivele stabilite. Acestea au fost efectuate în diverse biotopuri naturale și antropizate din Republica Moldova.

După stabilirea gradului de infestare, animalele au fost împărțite în două loturi experimentale, fiecare format din câte 10 indivizi: Lotul I – animale infestate; Lotul II – animale neinfestate. Ambele grupuri au fost menținute în condiții identice de întreținere. Intensitatea și extensivitatea invaziei au fost determinate înainte și după aplicarea tratamentului antiparazitar.

Recoltarea probelor de sânge, în scopul evaluării parametrilor hematologici și biochimici, s-a efectuat prin puncționarea venei jugulare. Aceasta a avut loc înainte de tratamentul cu Brovalzen și în zilele a 7-a, a 14-a și a 21-a post-tratament, conform protocoalelor standardizate din literatura de specialitate.

Parametrii analizați au inclus:

- **Hematologici**: hemoglobină, eritrocite, leucocite, formula leucocitară, hematocrit, protrombină, timpul de coagulare, viteza de sedimentare a hematiilor (VSH);
- **Serologici**: bilirubină, activitatea ALT și AST, electroliți (K, Na, Ca), proteine totale, albumine, fracțiuni proteice (α1, α2, β, γ), creatinfosfokinază, glucoză, colesterol;
- **Numărul de eozinofile**, toate monitorizate în dinamică la 20 de exemplare cu reactivitate diferită la stres.

Determinarea nivelului de protrombină s-a realizat folosind un grafic de calibrare bazat pe timpul de coagulare al plasmei testate în raport cu plasma normală (100%).

Timpul de recalcificare activat (TRA) a fost utilizat pentru evaluarea coagulării plasmei citratate, cu adaos de calciu și caolină.

Timpul de tromboplastină parțial activat (TTPa) a evaluat coagulabilitatea internă globală, prin recalcificarea plasmei în prezența eritrofosfatidei și caolinei.

Timpul de trombină (TT) a fost măsurat prin determinarea duratei de formare a cheagului după adăugarea unui exces de trombină la plasma decalcificată.

Conținutul de fibrinogen a fost analizat prin metoda gravimetrică, care presupune coagularea cu $CaCl_2$, uscarea și cântărirea cheagului de fibrină.

Fracțiunile proteice din ser au fost determinate prin electroforeză, urmată de cuantificare fotometrică. Concentrațiile de micro- și macroelemente au fost evaluate folosind metode fotoelectrocolorimetrice, iar conținutul vitaminelor prin metode spectrofotometrice [11].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Monitorizarea evoluției parametrilor hematologici – hemoglobină, eritrocite, leucocite, hematocrit, protrombină, timpul de coagulare și viteza de sedimentare a hematiilor (VSH) – la căpriori (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), înainte și după administrarea tratamentului antiparazitar cu Brovalzen, a evidențiat diferențe semnificative între loturile analizate.

Astfel, în faza pretratament, cervidele din lotul II (neinfestat) au prezentat valori semnificativ mai ridicate ale următorilor parametri hematologici comparativ cu cele din lotul I (infestat): **Hemoglobină**: +10,6 g/l (td = 2,6; P ≤ 0,05), **Eritrocite**: +1,1 milioane/mm³, **Hematocrit**: +3,2%, **Protrombină**: +7,2%, **Timp de coagulare (timpul trombării)**: +2,8 secunde.

În ceea ce privește numărul de leucocite și VSH, valorile inițiale au fost mai mari în lotul I (infestat), indicând o posibilă reacție inflamatorie sau de stres fiziologic asociată cu infecția parazitară: **Leucocite**: +2,4 mii/mm³ comparativ cu lotul II, **VSH**: +0,4 ml/sec.

Evaluarea în dinamică, la 7, 14 și 21 de zile post-tratament, a evidențiat o tendință de creștere generalizată a parametrilor hematologici în ambele loturi, semnalând o îmbunătățire a stării fiziologice, în special la animalele infestate anterior tratamentului.

La 7 zile după administrarea Brovalzen, lotul II (neinfestat) a înregistrat o creștere a nivelului hemoglobinei cu 3,0 g/l față de valoarea sa inițială și cu 8,0 g/l (td = 2,4; P ≤ 0,05) în comparație cu lotul I (infestat), în aceeași etapă de evaluare.

După administrarea tratamentului antiparazitar, valorile hemoglobinei au continuat să crească în ambele loturi, cu o predominanță marcată în grupul neinfestat (lotul II). Astfel, la a 14-a zi post-tratament, nivelul hemoglobinei a fost mai ridicat cu 3,7 g/l față de lotul infestat (lotul I), iar la a 21-a zi, diferența a crescut la 15,1 g/l. Comparativ cu valorile inițiale, creșterea a fost de 7,4 g/l la ziua 14 și de 20,5 g/l la ziua 21 în lotul II.

Numărul eritrocitelor a urmat o tendință ascendentă, cu diferențe semnificative între grupuri. Lotul II a prezentat valori mai mari: +0,9 mil./mm³ (ziua 7), +1,0 mil./mm³ (ziua 14) și +0,8 mil./mm³ (ziua 21) față de lotul I (td = 4; P ≤ 0,01). În raport cu valorile inițiale, creșterea a fost de 0,4 mil./mm³, 0,9 mil./mm³ și, respectiv, 1,1 mil./mm³ în grupul stres-rezistent (lotul II).

Valorile hematocritului au fost mai mari la lotul II la toate etapele post-tratament. La ziua 7, hematocritul era cu 5,2% peste nivelul inițial și cu 5,4% mai mare decât

în lotul I. La ziua 14, diferențele dintre loturi au fost minime (0,4%), însă la ziua 21, lotul II a depășit lotul I cu 1,3%, înregistrând o creștere totală de 7,4% față de etapa inițială. La lotul I, hematocritul a crescut cu 9,3% până la limita superioară a valorilor fiziologice.

Activitatea coagulantă a fost mai intensă la lotul neinfestat. Protrombina a înregistrat creșteri de +4,5% (ziua 7), +4,3% (ziua 14) și +6,2% (ziua 21) față de lotul I. Valorile maxime s-au înregistrat în ziua 21 la ambele loturi: +9,0% (lot II) și +10,0% (lot I) față de valorile inițiale. Timpul trombării a fost mai lung la lotul II, cu +1,8 sec. (ziua 7), +0,9 sec. (ziua 14), și +0,5 sec. (ziua 21) comparativ cu lotul I. Față de valorile inițiale, creșterile au fost de +4,3 sec. (lot I) și +2,0 sec. (lot II).

După tratament, s-a observat o diminuare progresivă a numărului de leucocite în ambele loturi. Comparativ cu lotul I, lotul II a avut un număr mai mic de leucocite cu 2,0 mii/mm³ (ziua 7), 0,87 mii/mm³ (ziua 14) și 0,4 mii/mm³ (ziua 21). În raport cu valorile inițiale, s-au înregistrat scăderi de 2,6 mii/mm³ (lot I) și 4,6 mii/mm³ (lot II). VSH a scăzut ușor după tratament, cu o diferență constantă de 0,1 ml/sec. între grupuri (în favoarea lotului II). La 21 de zile post-tratament, valorile VSH au fost mai mici cu 0,7 ml/sec. (lot I) și 0,4 ml/sec. (lot II) față de cele inițiale.

La începutul studiului, nivelul bilirubinei era ușor mai mare la lotul I (13,4±1,8 μmol/l) comparativ cu lotul II (12,2±0,8 μmol/l). După tratament, s-a observat o scădere constantă a valorilor în ambele loturi, ajungând la -3,8 μmol/l (lot I) și -2,8 μmol/l (lot II) față de valorile inițiale.

Valori inițiale mai ridicate la lotul I (+0,15 mmol/h/l). După tratament, conținutul de AST a scăzut progresiv, cu o diferență de -0,08 mmol/h/l (ziua 7) în favoarea lotului II. La ziua 21, scăderile au fost semnificative: -0,24 mmol/h/l (−47,9%) în lotul I și -0,13 mmol/h/l (−39,4%) în lotul II. La bovine, tendințele au fost similare, valorile atingând un maxim de 1,6±0,2 mmol/h/l în ziua 21 la lotul II.

Nivelul ALT a fost inițial mai ridicat în lotul I (+0,15 mmol/h/l). După tratament, s-au înregistrat scăderi constante, în special la lotul II, unde valorile erau cu 0,1 mmol/h/l mai mici la zilele 7 și 14. Cele mai reduse valori s-au observat în ziua 21: −0,31 mmol/h/l (−32,6%) în lotul I și −0,2 mmol/h/l (−25,0%) în lotul II.

La începutul studiului, nivelurile de macroelemente erau mai ridicate în lotul II: K (+0,6 mmol/l; td = 5; $P \leq 0,001$), Na (+4 mmol/l) și Ca (+0,4 mmol/l; td = 8; $P \leq 0,001$). După tratament, aceste valori au crescut în ambele loturi, atingând niveluri maxime în ziua 21 la lotul II.

Valori mai mari au fost înregistrate în lotul I pentru:

- Creatinfosfokinaza: 225±6,5 UI (lot I) vs. 182±4,2 UI (lot II); +19,12% (td = 5,56; $P \leq 0,001$)
- Glucoză: +1,3 mmol/l sau +21,2% (td = 2,6; $P \leq 0,05$) în lotul I
- Colesterol: +1,10 mmol/l sau +17,75% (td = 4,6; $P \leq 0,01$) în lotul II

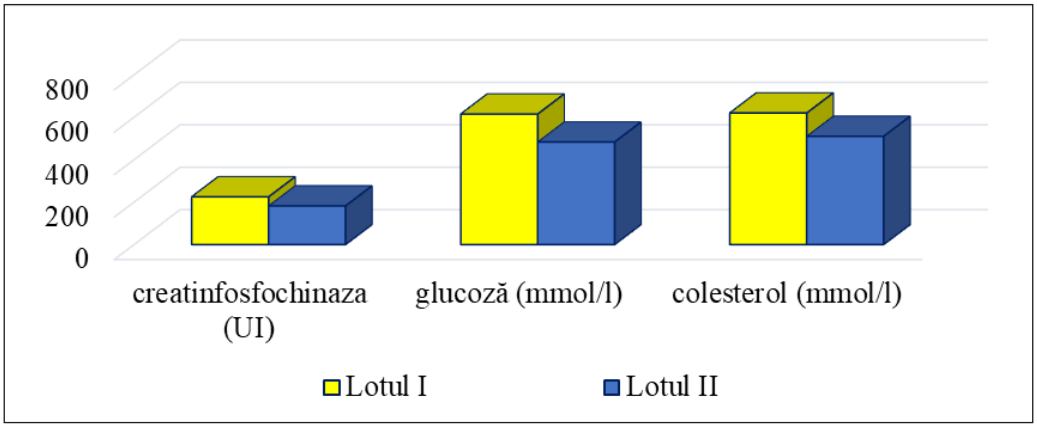


Figura 1. Evaluarea unor indici biochimici în serul sangvin la lotul de căprior (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), infestat comparativ cu cel neinfestat

Analiza conținutului de creatinfosfokinază, glucoză și colesterol în serul sangvin, atât la bovine, cât și la cervide cu diferite niveluri de infestare, a relevat valori semnificativ mai ridicate în lotul I (infestat), comparativ cu lotul II (neinfestat).

Determinările efectuate asupra proteinelor totale și a fracțiilor proteice la cervidele infestate și neinfestate, înainte și după administrarea tratamentului antiparazitar cu Brovalzen, au evidențiat inițial o diferență de 4,8 g/l (echivalentul a 6,0%; td = 3; $P \leq 0,05$) în favoarea lotului II. La 21 de zile post-tratament, diferența s-a redus, dar s-a menținut semnificativă, ajungând la 3,1 g/l sau 3,4%.

În ceea ce privește albuminele, valorile inițiale în serul sangvin au fost ușor mai mari în lotul I (42,0±1,4%) față de lotul II (41,3±1,2%), cu o diferență de 0,7%. Ulterior tratamentului, ambele loturi au înregistrat o creștere a nivelului albuminei, atingând în ziua 21 un maximum de 45,3±1,4% în lotul II și 43,2±1,9% în lotul I. Astfel, la finalul perioadei de monitorizare, lotul II a prezentat un conținut mai ridicat de albumine cu 2,1% față de lotul I, și o creștere de 4,0% față de valoarea sa inițială (comparativ cu 1,2% în lotul I).

În cazul fracțiunilor globulinice, la cervidele din lotul II s-au remarcat inițial niveluri mai mari de α1-globuline, cu o diferență de 5,4% față de lotul I. După administrarea tratamentului, s-a observat o creștere progresivă a acestora în ambele loturi, atingând un maxim la ziua 14 în lotul I, cu o valoare cu 21,3% mai mare decât în lotul II (td = 3,8; $P \leq 0,001$).

Conținutul de γ-globuline a prezentat la început o diferență negativă de 0,9% în lotul I față de lotul II. După tratament, s-a observat o tendință de scădere a acestora în ambele loturi, mai accentuată la cervidele din lotul II, considerate mai rezistente la stres. La ziua 21, nivelul γ-globulinelor a fost cu 8,8% mai scăzut în lotul II și cu 5,4% în lotul I, în raport cu valorile inițiale.

Analiza numărului de eozinofile totale la cervidele infestate a evidențiat inițial o valoare mai mare în lotul I, cu un exces de 22,8% (td = 3,2; P ≤ 0,05) comparativ cu lotul II. După tratamentul antiparazitar, în ambele loturi s-a înregistrat o diminuare a acestui indice, remarcându-se la ziua 7 o diferență de 25,0% în favoarea lotului I (td = 4,2; P ≤ 0,01). Diminuările față de valorile inițiale au fost de 15,8% în lotul II și de 18,2% în lotul I. Scăderea maximă a numărului de eozinofile s-a observat în a 21-a zi post-tratament: −42,2% (td = 4,2; P ≤ 0,001) în lotul I și −36,4% (td = 2,2; P ≤ 0,05) în lotul II.

În concluzie, după aplicarea tratamentului antiparazitar cu Brovalzen, s-a constatat o reducere semnificativă a numărului total de eozinofile la ambele grupe de cervide, comparativ cu valorile inițiale. Totuși, lotul I a continuat să prezinte valori relativ mai ridicate decât lotul II, chiar și după tratament, ceea ce poate sugera o reactivitate imunitară crescută la infestare (fig. 2).

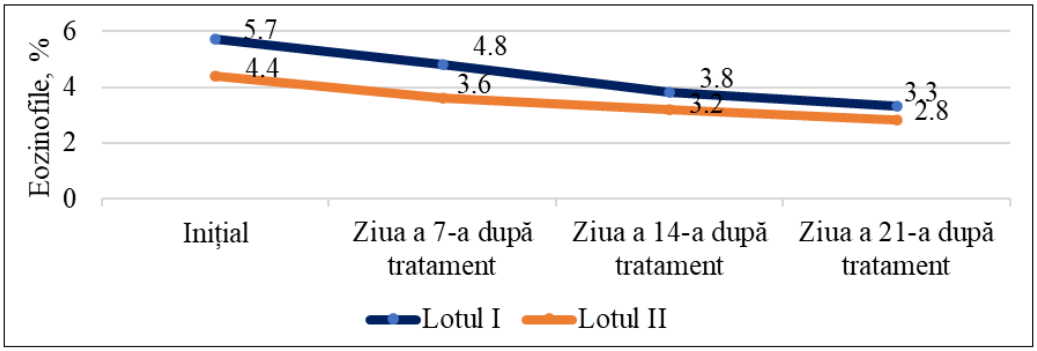


Figura 2. Dinamica eozinofilelor totale (mii/mkl) la lotul de căprior (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), infestat comparativ cu cel neinfestat, până și după aplicarea tratamentului antiparazitar cu *Valbazen*

Determinările inițiale privind numărul de neutrofile tinere au evidențiat o neutrofilie semnificativă în lotul I – infestat, cu o valoare cu 22,0% mai mare față de lotul II – neinfestat (td = 4,6; P ≤ 0,001).

După aplicarea tratamentului antiparazitar cu Brovalzen, s-a constatat o creștere progresivă a numărului de neutrofile tinere la ambele loturi. Această creștere a fost mai pronunțată în lotul II, considerat stres-rezistent, atingând un nivel superior cu 38,9% față de lotul I la a 14-a zi post-tratament (td = 4,6; P ≤ 0,001). Nivelul maxim a fost înregistrat la a 21-a zi, când neutrofilele tinere au fost cu 37,0% mai numeroase în lotul II față de lotul I (td = 8,6; P ≤ 0,001), comparativ cu valorile inițiale, fiind mai mari cu 31,5% în lotul I și cu 44,8% în lotul II.

Analiza formulei leucocitare la cervide cu diferite tipuri de reactivitate la stres (similare grupelor de bovine) a evidențiat variații ale numărului total de limfocite. În cazul bovinelor stres-reactive, s-a remarcat inițial o limfocitoză de 3,8% comparativ cu loturile stres-rezistente.

La cervide, după administrarea tratamentului antiparazitar, s-a constatat o creștere a numărului total de limfocite în ambele loturi. La a 21-a zi post-tratament, valorile maxime au fost de 57,0±5,2×10⁹/l pentru grupul stres-reactiv și de 54,2±3,5×10⁹/l pentru cel stres-rezistent, diferența fiind de 2,8×10⁹/l sau 0,5% mai mare în favoarea grupului stres-reactiv.

Analiza comparativă a parametrilor hematologici și biochimici, atât înainte cât și după administrarea tratamentului antiparazitar cu Brovalzen, a evidențiat un profil fiziologic afectat la lotul I – cervide infestate. La acest grup, s-au observat valori semnificativ mai scăzute pentru hemoglobină, eritrocite, hematocrit, proteine totale, albumine, glucoză și colesterol. Concomitent, s-au înregistrat creșteri ale nivelurilor de aspartataminotransferază (AST), bilirubină, eozinofile totale și neutrofile tinere, comparativ cu lotul II – cervide neinfestate, care a prezentat un status fiziologic mai stabil și o reactivitate hematologică mai eficientă post-tratament.

CONCLUZII

1. Majoritatea indicilor hematologici (hemoglobina, eritrocitele, hematocritul, protrombina, timpul de trombare), determinați inițial înainte de tratamentul antiparazitar cu Brovalzen, au fost semnificativ mai scăzuți la lotul I (cervide infestate) comparativ cu lotul II (cervide neinfestate). Ulterior, s-a observat o creștere progresivă a acestor parametri în ambele loturi, ajungând la valori maxime în ziua a 21-a după aplicarea tratamentului.

2. Nivelul bilirubinei a prezentat deviații semnificative, cu o concentrație inițială de 13,4±1,8 μmol/l la lotul I (cervide infestate) și 12,2±0,8 μmol/l la lotul II (cervide neinfestate). După tratament, s-a constatat o scădere a bilirubinei în ambele grupuri, menținându-se însă valori mai ridicate în lotul stres-reactiv.

3. Analizele biochimice ale serului sangvin au indicat diferențe semnificative în conținutul de colesterol între cele două loturi, fiind cu 17,75% mai crescut la lotul I (infestat) față de lotul II (neinfestat) ($td = 4,6$; $P \leq 0,01$).

4. Numărul total de eozinofile a fost semnificativ mai ridicat inițial la lotul I, cu o creștere de 22,8% față de lotul II ($td = 3,2$; $P \leq 0,05$). După tratamentul antiparazitar, ambele loturi au prezentat o scădere a numărului de eozinofile, însă la ziua a 7-a post-tratament, lotul I a menținut un nivel cu 25,0% mai ridicat comparativ cu lotul II ($td = 4,2$; $P \leq 0,01$).

5. Analiza generală a indicilor hematologici atât la momentul inițial, cât și după tratamentul antiparazitar, a evidențiat valori mai scăzute ale hemoglobinei, eritrocitelor, hematocritului, proteinelor totale, albuminelor, glucozei și colesterolului la cervidele din lotul I (infestat). În același timp, activitatea aspartataminotransferazei, nivelul bilirubinei și numărul eozinofilelor au fost mai ridicate în lotul I, comparativ cu lotul II (cervide neinfestate).

REFERINȚE:

1. ГОРИЗОНТОВ, П.Д., Федотова М.И., Егорова Л.Н. Реакция системы крови адреналэктомированных мышей на стрессорное воздействие// Пат. Физиол., -1981.-№5.-С.36-39.
2. ГЕРМАНОВ, В.А., Пиксанов О.Н. Эритроциты, тромбоциты, лейкоциты // Куйбышевское книжное издат.-во.-1986.-164с.
3. DRĂGĂNESCU, C. Exploatarea animalelor – Ecologia aplicată. –Bucureşti: Cereş, 1984, -P.265-266.
4. ERHAN, D., LUNCAŞU M., ZAMORNEA M., JARDAN V., MELNIC G. Asociaţii de ecto- şi endoparaziţi la bovine şi căile de diminuare a daunelor // Diversitatea antropizate, Chişinău, 1997.-P.100-104.
5. MACARI, V., RUDIC, V., GUDUMAC, V., BUZA, V. Efectul remediului BI-ORS1 asupra conţinutului de glucoză în serul sanguin la porcii tineri // The Bulletin of the European Postgraduate Center of Acupuncture and Homoeotahy, №4, Editor and Founder: V.Lacusta (Moldova), Co-Editor C.Ionescu-Tîrgovişte (România), October 2000, P.62-63.
6. PRAISLER, P. Adaptarea şi bolile de adaptare la animalele domestice // Bucureşti, Vol.1, Ed.”Ceres”, 1988, P.265-266.
7. ERHAN, D. Tratat de parazitoze asociate ale animalelor domestice. Chișinău, Tipografia centrală. 2020. - 1040 p. ISBN 978-9975-157-13-1.
8. RUSU, Ş. Parazitofauna, impactul parazitozelor asupra speciilor principale de importanţă cinegetică, profilaxia şi tratamentul. – Chişinău: S.n., 2021 (Lexon-Prim SRL). - 492 p.: ISBN 978-9975-163-04-0.
9. ПАУЛИКАС, В. Чувствительность свиней к стрессам и зараженность их энтеропаразитами // Гельминтология сегодня: пробл. и перспективы: Тез. докл. науч. Конф.-М.:. -1989.-Т-2,-1989.-С.49.
10. ФУРДУЙ, Ф.И., БАБАРЭ, Г.М., БЕШЕТЯ, Т.С. Адаптация, стресс и железы внутренней секреции // Стресс и адаптация (Тез. Всесоюзного симпозиума).-Кишинэу: Штиинца, 1978.-С.63-64 .
11. КОНДРАХИН, И.П., КУРИЛОВ, Н.В., МАЛАХОВ, А.П. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии // Москва, “Агропромиздат”, 1985.-287с.
12. ȘUTEU, E. Probleme și progrese în parazitologie. Cluj-Napoca: Risoprint, 2017. 248 p. ISBN 978-973-53-2046-1.
13. TODERAȘ, I. ș. a. Cuantificarea unor indici biochimici și productivi la fazanii infestați cu ectoparaziți. În: Buletinul Academiei de Științe a Moldovei 2(338), Chișinău, 2019. p.112-117. ISSN 1857-04X
14. RUSU, Ş. Establishing of the mono- and polyinvasion impact on some morpho-functional indices in wild boars. In: Sustainable use and protection of animal world in the context of climate change dedicated to the 75th anniversary from

the creation of the first research subdivisions and 60th from the foundation of the Institute of Zoology. Ediția 10, 16-17 septembrie 2021, Chișinău. Chișinău: Institutul de Zoologie, 2021, pp. 269-275. ISBN 978-9975-157-82-7.

15. ROND, J., JONG, R., BOON, J., BROUWER, B. Influence of gas trointestinal nematodes on the productivity of dairy cattle in the wet highlands of Sri Lanca. In: Trop. Anim. Health Product. 1990, vol. 22, nr. 2, pp. 135-143. ISSN 0049-4747.
16. POZIO, E. Human behaviour and the epidemiology of parasitic zoonoses. In: International Journal for Parasitology. 2005, vol. 35, nr.11-12, pp. 1319-1331.

N.B. *Investigațiile au fost realizate în cadrul Subprogramului 010701 „Evaluarea structurii și funcționării biocenozelor, habitatelor acvatice și terestre sub influența factorilor biotici și abiotici, în contextul asigurării securității ecologice și bunăstării populației”.*

ROLUL FACTORILOR ABIOTICI ÎN STABILIREA SISTEMULUI „PARAZIT-GAZDĂ” CONSTITUIT DE SPECII HIDROBIONTE

THE ROLE OF ABIOTIC FACTORS IN THE ESTABLISHMENT OF THE „PARASITE–HOST” SYSTEM FORMED BY HYDROBIONT SPECIES

CZU: 591.69:597.2/.5 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.45**

Vadim RUSU
ORCID: 0009-0002-3758-6968
E-mail: vadim.rusu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ion TODERAȘ
ORCID: 0000-0003-1599-838X
E-mail: iontoderas@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nadejda RAILEAN
ORCID: 0000-0001-7818-9200
E-mail: nadejdarailean@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Mihail BUDEANU
ORCID: 0000-0002-4120-4152
E-mail: mihail.budeanu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Igor PÎRȚU
ORCID: 0000-0003-4537-3364
E-mail: igor.pirtu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Methods for cultivating in laboratory conditions the partners of the parasite-host system consisting of hydrobiont species of mermitids and diptera are described. The importance of some abiotic factors in the successful establishment of the respective parasitic system is highlighted.The study of interrelations in the "parasite-host" system formed by invertebrate and, therefore, ectothermic animals has a special practical and theoretical importance, because it completes the information, regarding the processes that occur in the respective systems, described so far only for vertebrate and endothermic animals. The quantitative similarity of the sets of protein amino acids of the host and the parasite, their low variability under different ecological-physiological conditions can be used in the works devoted to the ecological biochemistry of*

helminths, as a criterion of the reliability of the method of determining amino acids and even of the quality of the collected material.

Keywords*: „host parasite" system, mermithidae, abiotic factors, laboratory culture.*

INTRODUCERE

Problema centrală a parazitologiei ca ştiinţă este cea a interrelaţiilor în sistemul „parazit-gazdă".

Numeroase date experimentale demonstrează că multe organisme sunt limitate în achiziţionarea unor paraziţi noi nu numai din cauza unor factori endogeni (specificitatea), ci şi, în mare măsură, de un şir de condiţii externe, înlăturarea cărora conduce la transformarea organismului respectiv în gazdă pentru noi specii de paraziţi. Astfel, pe lângă fauna reală de paraziţi ai unei gazde există şi fauna parazitară potențială a acesteia. Aspectul practic al problemei în cauză este legat de faptul că paraziţii potenţiali reprezintă o ameninţare permanentă pentru organismul posibilei gazde. Astfel, stabilirea conexiunii „parazit-gazdă" are loc cu participarea unor factori favorabili accidentali şi a particularităţilor fiziologice şi biochimice, achiziţionate absolut independent de către diferite organisme. Actualmente, o atenţie deosebită este acordată impactului schimbării condiţiilor mediului înconjurător asupra apariţiei şi evoluţiei maladiilor parazitare. Presiunea antropică crescândă poate favoriza stabilirea unor noi conexiuni „parazit-gazdă", ale căror apariţii pot fi determinate, în primul rând, de modificarea condiţiilor mediului înconjurător. Din unghiul acesta de vedere, problema elucidării gradului de integrare a metabolismelor partenerilor în sistemele biologice „parazit-gazdă" este de o actualitate deosebită. Sunt necesare noi procedee de profilaxie şi combatere a parazitozelor, precum şi de pronosticare a evoluţiei faunei parazitare a gazdei respective. Actualitatea problemei este legată şi de apariţia, în ultimul timp, a unor noi maladii infecţioase ale omului, precum și de necesitatea crescândă de substituire a metodelor chimice de protecţie prin metode biologice de combatere a dăunătorilor [1].

Obiectul cercetărilor noastre - mermitidele (Nematoda, Mermithidae) -reprezintă o familie de nematode parazitare destul de numeroasă, dar puţin studiată. Mermitidele parazitează în reprezentanți din aproape toate ordinele de insecte, cu excepția tizanurelor, malofagienilor și anoplurelor. Acumularea unor informații noi despre mermitide contribuie la elaborarea unor noi metode de combatere biologică a insectelor dăunătoare şi la elucidarea rolului acestor paraziţi în diminuarea efectivului populațiilor de hironomide, care joacă un rol esenţial în circuitul de substanţe şi energie în bazinele acvatice dulcicole şi reprezintă resurse nutritive importante în gospodăriile piscicole. Studierea aspectelor biochimice ale interrelațiilor în sistemul „parazit-gazdă" format din animale ectoterme și nevertebrate este actuală și din cauza lipsei informaţiei în domeniul respectiv. Până acum au fost publicate lucrări cu privire la biochimia helminţilor animalelor endoterme (homeoterme) şi, într-o măsură foarte mică, ai peştilor. În acelaşi timp, studierea comparată a variabilităţii compoziţiei chimice a diferiţilor helminţi, ce parazitează la animalele ectoterme nevertebrate și la cele endoterme în diverse condiții

ecologo-fiziologice, ar putea furniza informații utile pentru elucidarea problemei teoretice referitoare la caracterul unic al mecanismelor biochimice de adaptare a helminţilor la modul de viaţă parazitar.

MATERIAL ȘI METODĂ

Studierea și cultivarea mermitidelor în condiții de laborator a fost efectuată conform metodelor descrise în literatura de specialitate [1]. Durata dezvoltării embrionare a mermitidelor a fost stabilită prin realizarea infectării provocate a hironomidelor. În acest scop, mermitidele, care părăseau corpul gazdelor în mod independent, se plasau în fiole cu apă. După copulare femelele depuneau ouăle pe fundul fiolei. Ouăle de mermitide au fost incubate la temperatura +17-+20° C. Larvele eclozate din ouăle mermitidelor erau folosite pentru infectarea gazdelor. Pentru studierea ciclurilor vitale ale partenerilor sistemului ,,gazdă-parazit" a fost întreprinsă cultivarea hironomidelor în condiţii de laborator. Pontele de ouă au fost căpătate de la femelele prinse în natură. Femelele de hironomide erau plasate în cristalizoare sau în izolatoare speciale. În calitate de suprafeţe de cultură am utilizat chiuvete metalice emailate cu înălţimea de 3,5 cm şi cu laturile, respectiv, de 45 cm şi 35 cm Chiuvetele, plasate vertical una faţă de alta, erau separate între ele prin intervale de spaţiu liber cu lăţimea de 15 cm. Pontele cu ouă ale hironomidelor erau plasate câte 6-7 în fiecare chiuvetă. Dezvoltarea ouălor de hironomide decurgea la temperatura camerei (+17-+20°C). Exemplarele de hironomide adulte erau obţinute în laborator atât din larvele colectate în natură, cât şi din materialul, cultivat din ouă de hironomide în condiţii de laborator.

Larvele de hironomide, infectate cu mermitide, erau întreţinute în chiuvete cu nămol umed la temperatura de +17-+20° C. Nămolul era în prealabil dezinfectat prin încălzire în dulapul de uscat la temperatura de +70-+80° C. Vivisecţia gazdelor se executa în prima zi după 2 ore de la infectare, apoi în zilele 2, 3, 7, 10, 15, 20. Paraziţii extraşi şi gazdele acestora au fost utilizaţi pentru analizele biochimice ulterioare.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Mermitidele au fost înregistrate la o varietate de artropode, într-o varietate de medii, infectând frecvent un procent larg din populaţiile gazdei. Studiul acestor nematozi, totuși, a evoluat lent, deoarece majoritatea observațiilor asupra mermitidelor au fost efectuate de entomologişti cu interes şi aptitudini scăzute în nematologie. De exemplu, aproape toate dintre cele mai precoce lucrări s-au limitat la observaţiile asupra incidenţei parazitismului.

Majoritatea cercetărilor pentru acest grup petrecute în ultimii ani au fost stimulate de interesul crescut pentru metodele biologice de combatere a dăunătorilor. Mermitidele atrag atenția cercetătorilor prin faptul că posedă următoarele caracteristici ale unui agent biologic reglator ideal: sunt specifice pentru una sau puţine specii de gazde; parazitarea este letală pentru gazdă; sunt relativ uşor de manipulat în condiţii de laborator; unele

specii pot fi reproduse în masă în condiţii de laborator; pot fi uşor diseminate în mediu, utilizându-se tehnica standard de pulverizare a pesticidelor; prezintă un potenţial sporit pentru răspândirea în masă, ceea ce permite atingerea unui nivel ridicat al extensivității invaziei inițiale și instalarea unui control ulterior parţial al efectivului populaţiei gazdei pentru o perioadă nedeterminată; nu prezintă pericol pentru mediu; sunt inofensive pentru organismele utile datorită ciclului lor vital.

Mermitidele, care atacă stadiile acvatice ale gazdelor, sunt similare, variind, în cea mai mare parte, după durata timpului necesar pentru realizarea ciclului vital. Stadiile invazionare (preparazitare) eclozează la stadiul de larvă de vârsta a II-a și la majoritatea speciilor înoată liber în mediul acvatic din bazinele stătătoare. La speciile, care se dezvoltă în mediul acvatic curgător, preparaziții se atașează de suprafața substratului. Caracteristicile de comportament ale mermitidelor, unice pentru sistemul „parazit-gazdă", ar putea determina contactul preparazitului cu gazda. Preparazitul este pozitiv tigmotactic și negativ geotactic, ceea ce permite nematodului de a contacta uşor cu gazda receptivă. Preparazitul are, în general, o viață scurtă și devine inert la toate temperaturile după două zile de la eclozare.

Realizând un contact reușit, preparazitul se atașează de gazdă și, prin intermediul stiletului, pătrunde în hemocelul gazdei prin orificiul făcut în cuticula acesteia. Pe parcursul acestei perioade şi al câtorva minute după aceasta, gazda pare să fie paralizată. Treptat, mobilitatea normală şi nutriţia se restabilesc. Penetrația percutanată este modul obișnuit de pătrundere a mermitidelor în corpul gazdelor. Unii autori afirmă că modalitatea cea mai răspândită de infectare este ingestia larvelor preparazitare de mermitide de către gazdele ce se nutresc prin filtrarea apei. Prin penetrarea pasivă a larvelor invazionare în urma ingestiei s-ar explica atestarea mermitidelor în gastropode, gamaride şi alte gazde. Totuși, în experimentele de laborator, pentru *Hydromermis contorta* am atestat numai penetrația percutanată. Larvele invazionare ale mermitidelor, plutind la suprafaţa apei, efectuează la început deplasări nedirecţionate. Ajungând la distanţa de 1 mm de la larva gazdei, mermitida începe să facă deplasări direcţionale, efectuând mişcări oscilatorii caracteristice cu partea anterioară. În acest moment, la capătul anterior al mermitidei este secretată o picătură cleioasă, cu ajutorul căreia nematodul se încleie de suprafaţa corpului larvei ţânţarului. Faza de încleiere durează 1 min. După aceasta, în decurs de 2-3 min, mermitida caută un loc potrivit pentru penetrare, după care perforează cuticula larvei cu ajutorul odontostilului. În acest moment larva gazdei este provizoriu paralizată, inima ei se opreşte, iar intestinul îşi intensifică contracţiile peristaltice. Paralizia larvei durează circa 2 min, după care mermitida pătrunde în interiorul corpului acesteia.

Ciclul vital al nematodului *H. contorta* constă din 3 faze: preparazitară, parazitară și postparazitară. Invazionară este larva de vârsta a Il-a. Pentru *H. contorta* a fost stabilită penetrarea activă în hemocelul gazdei prin septele intersegmentare ale abdomenului și ulterior prin țesuturi. Deci, penetrarea larvei invazionare în corpul gazdei în cazul dat are loc percutanat.

Reprezentanţii unor specii de mermitide se dezvoltă numai în gazdele larvare, în condiţii normale ale mediului înconjurător, în timp ce altele - probabil, îşi termină dezvoltarea în orice stadiu al gazdei, în dependenţă de vârsta acesteia în momentul penetrării. Totuşi, reprezentanţii unor specii se pot maturiza numai în gazda adultă. Mermitidele încetează a se nutri înainte de ieşire din organismul gazdei şi formează o cuticulă secundară (păstrând cuticula larvară precedentă), ceea ce le conferă toleranţă la condiţiile mediului extern. Mermitidele părăsesc organismul parazitat formând un orificiu în cuticula gazdei prin simplă presiune mecanică asupra sectoarelor intersegmentare. În momentul ieşirii parazitului survine moartea gazdei larvare. Uneori gazda adultă supravieţuieşte ieşirii parazitului, producând în acest caz o pontă redusă de ouă. Mermitidele poslparazitare se adună, formând gheme pe fundul bazinului acvatic. Mermitidele sunt animale unisexuate, ovipare. Masculii sc disting de femele atât prin dimensiunile mai mici, cât și prin prezența spiculei la capătul posterior al corpului.

La *H. contorta* ultima năpârlire de maturizare are loc deja în corpul gazdei. Problema privitoare la năpârlirea mermitidelor necesită cercetări suplimentare prin aplicarea unor metode speciale de studiu (observații fotomicroscopice, măsurarea exuviilor lăsate, studierea procesului de năpârlire cu ajutorul microscopiei electronice). Mermitidele postparazitare nu se nutresc și de aceea fecunditatea lor depinde în întregime de rezervele acumulate anterior pe parcursul perioadei dc parazitare, variind în diapazonul de 2-30000 de ouă. După ieșirea din gazde postparaziții liberi, ce nu se nutresc, pătrund în substratul mediului, unde năpârlesc până la stadiul de adult, copulează şi depun ouăle. Această perioadă poate fi atât de scurtă durată, cât şi de 7-10 zile. La mermitidele care parazitează gazdele univoltine această perioadă poate dura un an.

Ouăle mermitidelor acvatice sunt, de obicei, sferice, transparente şi conţin la suprafaţă cantităţi mici de substanţă gelatinoasă. Ouăle celor mai multe mermitide acvatice au o toleranţă scăzută pentru uscare. Totuși, ouăle mermitidelor, care parazitează simuliidele din biotopurile inundabile, sunt capabile să tolereze perioade îndelungate de aflare în habitate uscate. Iniţierea şi decurgerea maturizării ouălor după depunerea lor depinde de temperatura mediului extern. Incubaţia ouălor este posibilă la temperatură şi umiditate optime. Acolo, unde apa liberă lipseşte, ouăle maturizate nu eclozează până în momentul inundării habitatului. În habitatele, inundate pentru perioade extinse, există o reproducere continuă scăzută a mermitidelor. Dacă habitatele uscate sunt inundate, atunci are loc sincronizarea proceselor de depunere a ouălor de către gazde și mermitide, rezultând frecvent valori ridicate ale extensivității invaziei.

Efectul temperaturii asupra dezvoltării şi parazitării este documentat pentru un șir de specii de mermitide. Conform cercetărilor noastre efectuate asupra speciei *Hydromermis contorta*, cele mai favorabile temperaturi pentru dezvoltarea ouălor și viața larvelor invazionare și a nematodelor postparazitare se găsesc în diapazonul termic de la +10° C până la +25°C. Temperaturile scăzute (-2°C) şi cele ridicate (+30°C) sunt letale pentru toate stadiile de dezvoltare a paraziţilor. Termenele de dezvoltare a mermitidelor, de regulă, sunt sincronizate cu ciclul vital al gazdei. Un factor limitant important pentru mer-

mitidele acvatice poate fi deplasarea apei. Încercările de a infecta larvele de hironomide cu larve de mermitide în apa curgătoare sunt ineficiente.

Uscăciunea nu este un factor limitant esențial pentru mermitidele acvatice. Deşi nematozii şi ouăle acestora nu tolerează uscarea chiar şi pentru câteva minute, există suficientă umiditate pentru ca în habitatele uscate să se menţină populaţiile parazitului până în momentul inundării acestor habitate. Dimpotrivă, umiditatea este un factor major pentru mermitidele terestre. Un nivel ridicat de parazitare de către mermitidele terestre este întotdeauna asociat cu umiditatea persistentă a mediului.

Preparaziţii mermitidelor devin imobili după 8 ore de aflare în mediul acvatic cu un conţinut organic ridicat şi cu concentraţii scăzute ale oxigenului. Acest fapt explică, cel puţin în parte, de ce mermitidele sunt ineficiente în mediile poluate.

Mermitidele, cu mici excepții, parazitează în stadiile imature ale gazdelor lor. Vârsta gazdei imature influenţează susceptibilitatea acestei gazde la invazia de către anumite specii de mermitide. Vârsta gazdei condiţionează reuşita încercării de a limita efectivul populaţiilor gazdelor cu creştere rapidă din habitatele inundabile. Cel mai frecvent infectarea are loc la larvele hironomidelor de vârstele 2-3. Dacă invazia este singulară, atunci mermitidele îşi termină dezvoltarea în mod normal, părăsind gazda în faza postparazitară matură. Dacă mermitidele infectează gazdele de vârste mai tinere, atunci ele îşi continuă dezvoltarea în organismul pupei sau chiar al gazdei la stadiul de imago, pe care îl părăseşte în perioada de depunere a ouălor.

Cercetările confirmă, că răpitorii și paraziții mermitidelor reduc eficiența ultimelor în mediile acvatice. Stadiul preparazitar este atacat de copepode, gamaride și astacide tinere, ditiscide, larvele odonatelor. În experimente de laborator populația mermitidelor este semnificativ redusă de copepode cu densitatea de 20-100/1l. Copepodele pot juca un rol semnificativ în succesul sau insuccesul aplicării mermitidelor în natură pentru combaterea dăunătorilor. Organismele patogene pot limita efectivul populațiilor de mermitide acvatice și terestre. Dezvoltarea fungilor poate afecta potențialul mermitidelor acvatice în combaterea simuliidelor. Impactul organismelor patogene asupra mermitidelor în condiții naturale rămâne încă neelucidat.

Mermitidele insectelor terestre prezintă un diapazon mai larg de gazde, față de cele ale insectelor acvatice. Din cauza dificultăţilor de manipulare cu mermitidele în condiții de laborator, majoritatea informațiilor despre specificitatea mermitidelor derivă din observațiile asupra insectelor infectate în natură. Diapazonul gazdelor mermitidelor acvatice este mai restrâns, limitându-se frecvent la una sau câteva specii apropiate. Susceptibilitatea este, cu unele excepții, înaltă și la genul *Anopheles* [2]. Aceste informaţii demonstrează complexitatea interdependenţelor în sistemele respective „parazit-gazdă" și confirmă importanța cunoașterii acestor interrelații pentru asigurarea eficienței mermitidelor în combaterea biologică a insectelor dăunătoare.

Prin analize biochimice ale materialului cultivat în condiții de laborator, s-a demonstrat că gazda și parazitul tisular prezintă similitudini calitative și cantitative dintre seturile de aminoacizi proteici. Aceste similitudini sunt cu atât mai pronunțate, cu cât este

mai înalt gradul de specificitate al partenerilor sistemului parazitar respectiv. În rezultatul cercetărilor noastre au fost determinați coeficienții care exprimă raportul cantitativ al aminoacizilor bazici (arginina, lizina, histidina) față de cei bicarbonici (acizii asparagic și glutamic) și care s-au dovedit a fi foarte apropiați ca valoare pentru proteinele parazitului *Hydromermis contorta* (0,92) și cele ale gazdei sale *Chironomus plumosus* (0,96). Această similitudine poate fi explicată prin adaptarea parazitului la țesuturile gazdei și prin coevoluția structurilor antigenice ale partenerilor sistemului respectiv ,,parazit-gazdă".

CONCLUZII

1. Pe cale experimentală s-a stabilit că cele mai favorabile temperaturi pentru dezvoltarea ouălor și viața larvelor invazionare și a mermitidelor postparazitare se găsesc în diapazonul termic de la +10°C până la +25°C. Temperaturile scăzute (-2°C) și cele ridicate (+30°C) sunt letale pentru toate stadiile de dezvoltare a paraziților.

2. Reușita cultivării mermitidelor în condiții de laborator depinde în grad major de facilitatea cultivării gazdelor acestora. Cultivarea in vivo rămâne principala modalitate de producere în masă a mermitidelor în calitate de agenți biologici reglatori ai efectivului populațiilor de insecte dăunătoare.

REFERINȚE:

1. RUSU, V., TODERAŞ, I., BUDEANU, M., PÎRŢU, I. Rolul mermitidelor (*Nematoda, Mermithidae*) în calitate de agenți biologici reglatori ai efectivului insectelor heterotope şi hematofage. În: *Integrare prin cercetare și inovare.: Științe exacte și ale naturii*, 7-8 noiembrie 2024, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Centrul Editorial-Poligrafic al Universității de Stat din Moldova, 2024, SNE, pp. 327-332. ISBN 978-9975-62-808-2. https://doi.org/10.59295/spd2024n.45
2. ABAGLI, A. Z., ALAVO, T. B., PEREZ-PACHECO, R., AND PLATZER, E. G. 2019. Efficacy of the mermithid nematode, *Romanomermis iyengari*, for the biocontrol of Anopheles gambiae, the major malaria vector in sub-Saharan Africa. Parasites & Vectors, 12: 1-8. 2019. https://doi. org/10.1186/s13071-019--3508-6

N.B. *Subprogram 010701 al USM ,,Evaluarea structurii și funcționării lumii animale și ecosistemelor acvatice sub influența factorilor biotici și abiotici în contextul asigurării securității ecologice și bunăstării populației".*

VARIABILITATEA STATUTELOR BIOCHIMICE ALE PARTENERILOR SISTEMULUI „PARAZIT-GAZDĂ”

VARIABILITY OF THE BIOCHEMICAL STATUSES OF THE “PARASITE–HOST” SYSTEM PARTNERS

CZU: 591.69 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.46**

Vadim RUSU
ORCID: 0009-0002-3758-6968
E-mail: vadim.rusu@usm.md

Ion TODERAȘ
ORCID: 0000-0003-1599-838X
E-mail: iontoderas@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nadejda RAILEAN
ORCID: 0000-0001-7818-9200
E-mail: nadejdarailean@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Mihail BUDEANU
ORCID: 0000-0002-4120-4152
E-mail: mihail.budeanu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Igor PÎRȚU
ORCID: 0000-0003-4537-3364
E-mail: igor.pirtu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The prospects of studying amino acids in the “parasite-host” system are conditioned by the possibility of experimentally reproducing environmental conditions. This would allow identifying changes in the set of amino acids, changes that would proportionally reflect the changes that occurred in the culture medium. Another problem that deserves all attention is the elucidation of the mechanism of absorption of some amino acids by tissue parasites. It was found that the host and the tissue parasite present significant differences between the sets of free amino acids in their organisms. The parasite selectively absorbs, first of all, the indispensable amino acids, the share of which in the organism of the parasitized host is diminished to the highest degree. Therefore, parasitized hosts present significant decreases in the share of essential*

amino acids, in relation to non-parasitized hosts. The values of the sums of the entropies of the sets of free amino acids tend to increase in infected hosts in relation to uninfected ones. This is due to the decrease in the proportion of some amino acids as a result of selective absorption by the parasite.

***Keywords**: ,,host parasite" system, free amino acids, biochemical aspects.*

INTRODUCERE

Studiul variabilității statutului biochimic al partenerilor sistemului ,,parazit-gazdă" se poate dovedi util pentru soluționarea atât a unor probleme actuale ale biologiei parazitului și gazdei, precum și a problemei complexe cu privire la natura parazitismului. Aceasta are o mare importanță atât teoretică, cât și practică. Ne-am oprit mai amănunțit asupra acestor chestiuni care, la opinia noastră, au cea mai mare actualitate:

- ce concluzii pot fi enunțate prin compararea statutelor biochimice ale parazitului și gazdei?
- e posibilă oare stabilirea unor verigi în metabolismul paraziților, care ar putea servi drept puncte de aplicare a unor noi preparate antihelmintice?
- cum influențează modificarea condițiilor mediului ambiant asupra ponderii substanțelor de diferite clase în organismul parazitului?
- pot fi oare elaborate teste biochimice, cu ajutorul cărora ar putea fi apreciat gradul de influență a parazitului asupra gazdei?
- care substanțe prezintă o valoare de perspectivă mai mare pentru studierea în continuare a aspectelor biochimice ale interconexiunilor în sistemul ,,parazit-gazdă"?

MATERIAL ȘI METODĂ

Materialul a fost obținut în condiții de laborator. Sistemul ,,parazit-gazdă" , folosit ca model în cercetările noastre, constă din 2 parteneri, reprezentați de animale nevertebrate: gazdele *Chironomus piger* Strenzke, 1959; *Ch. thummi* Kieffer, 1911, *Ch. plumosus* Linnè, 1758 (*Diptera, Chironomidae*) şi mermitida acvatică *Hydromermis contorta* Linstow, 1889 (*Nematoda, Mermithidae*). Alegerea, în calitate de obiect de studiu, anume a modelului menționat, precum și a locului de colectare a materialului au fost condiționate de câțiva factori: în primul rând, de lipsa datelor referitoare la aspectele studiate de noi în sistemul ,,parazit-gazdă", format din parteneri nevertebrați; în al doilea rând, modelul studiat în cazul dat poate fi reprodus în condiții de laborator, fapt, care permite efectuarea unor investigații mai amănunțite și multilaterale. Acest fapt exclude erorile, condiționate de eterogenitatea taxonomică a materialului analizat.

Materialul colectat a fost selectat și distribuit în următoarele categorii: larve de *Ch. piger* și de *Ch. plumosus* infestate cu *H. contorta* și neinfestate cu acest parazit; pupe de *Ch. piger* infestate și neinfestate cu *H. contorta:* femele și masculi de *H. contorta* extrași din corpul gazdei; femele de *H. contorta* postparazite; imago de *Ch. piger,* masculi și femele; imago, exuvii și ponte de *Ch. plumosus.*

Larvele de hironomide se examinau cu ajutorul microscopului binocular și se plasau în vase cu capacitatea de 0,5 litri cu o cantitate nu prea mare de apă, în care se întrețineau până la ieșirea paraziților. Exemplarele adulte ale hironomidelor erau plasate în eprubete cu diametrul de 10 mm, pe fundul cărora se turna un strat de apă (1,0 cm). De regulă, în aceste condiții mermitidele ieșeau destul de repede în apă din corpul insectelor. Vârsta larvelor de hironomide se stabilea prin măsurarea lățimii capsulei cefalice cu ajutorul ocular-micrometrului. Paraziții extrași din corpul gazdelor se clăteau îndată cu apă distilată, erau uscați cu hârtie de filtru, după care erau cântăriți la balanța analitică. În condiții de câmp larvele de hironomide și mermitidele postparazite au fost colecționate cu ajutorul căușelor și al fileurilor speciale; erau spălate prin clătirea fileului în apa bazinului acvatic respectiv. În condiții de laborator mermitidele erau distribuite în grupe separate prin examinarea cu ajutorul microscopului binocular. Disecția anatomică a larvelor de hironomide a fost efectuată în soluție fiziologică. Larvele hironomidelor erau supuse acestei operații conform celor ce urmează. Larvele erau plasate într-o picătură de soluție fiziologică pe o sticlă de ceas. După aceasta larvele erau decapitate prin secționare cu bisturiul, apoi, cu ajutorul a 2 ace de preparare, înfipte la extremitățile anterioară și posterioară ale larvelor, prin mișcări precaute se scotea în exterior conținutul corpului acestora. Pentru depistarea larvelor mici de mermitide, larvele hironomidelor erau plasate într-un amestec de glicerină cu apă (1:1), fapt ce le mărea transparența. Larvele hironomidelor erau plasate pe lame portobiect. La apăsarea ușoară, prin intermediul altei lame, mermitidele erau ușor observate prin peretele corpului larvelor de hironomide. Mermitidele au fost fixate în soluție de 4% de formalină. Pentru studiere detaliată și conservare larvele extrase de mermitide erau plasate în glicerin-gelatină. Pentru fixarea mermitidelor a fost utilizat și un amestec, format din formalină de 40 %, alcool de 96 %, acid acetic glacial și apă distilată în proporție 6:17:2:28. După 12-24 de ore obiectul era transferat într-un amestec de glicerină, alcool de 96 % și apă distilată în proporțiile 1:3:6. Vasele cu amestecul respectiv, în care se găseau preparatele, se lăsau deschise pentru 48-60 de ore la temperatura de 25-35°C. Astfel, alcoolul și apa se evaporau, iar mermitidele rămâneau în glicerină.

Conținutul în elemente chimice a fost determinat prin intermediul analizei spectrale de emisie. Evaluarea cantității de azot total a fost efectuată prin metoda Kjeldahl, după care prin recalculare a fost stabilită cantitatea de proteine (Nx6,25). Conținutul în lipide a fost calculat prin metoda Soxhlet. Conținutul în glucide a fost determinat prin calculul diferenței dintre 100 % și cantitatea proteinelor, lipidelor și substanțelor minerale în procente.

În scopul stabilirii masei uscate a partenerilor sistemului dat și al determinării conținutului de aminoacizi în corpul acestora, o parte din materialul colectat și cultivat în condiții de laborator a fost supus uscării prin liofilizare cu azot lichid. Acest procedeu a permis de a reduce masa probelor până la cea uscată și de a lăsa intactă compoziția chimică a proteinelor și a aminoacizilor liberi din hemolimfa animalelor care constituiau probele astfel tratate. După uscarea prin liofilizare probele plasate în fiole aparte, fiind

protejate contra accesului de umiditate, au putut fi păstrate în decursul unei perioade suficient de lungi, până la efectuarea analizelor biochimice respective. Analiza de mai departe a materialului astfel preparat a fost efectuată cu ajutorul analizatorului automat de aminoacizi. Analizatorul respectiv servește pentru analiza calitativă și cantitativă a aminoacizilor prin metoda cromatografiei cu schimb de ioni pe ioniți. Analiza aminoacizilor a fost efectuată pentru două tipuri de probe: în hidrolizatele proteice - pentru aminoacizii proteici și în extrasele tisulare -pentru aminoacizii liberi. În soluția de hidrolizate analizatorul determină pe fiecare din cei 20 de aminoacizi din compoziția proteinelor. Analiza extraselor tisulare a permis stabilirea a circa 40 de substanțe, inclusiv aminoacizi liberi și peptide.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

1. Una din ideile de bază care ne-au animat, în primul rând, a fost aceea despre existența la paraziți a unor substanțe neobișnuite, necaracteristice gazdei. Această idee se baza pe datele aduse în literatura de specialitate, conform cărora a fost atestată prezența la ascaride a unor glucide, ca tregaloza, determinată rar la animalele vertebrate. Am presupus că și printre aminoacizi pot fi găsiți asemenea compuși caracteristici numai pentru parazit. Aceste presupuneri, însă, fapt ilustrat de lucrarea de față, nu s-au confirmat. Mai mult decât atât, seturile aminoacizilor liberi și legați (proteici) s-au dovedit a fi practic identice din unghi de vedere calitativ atât la gazde, cât și la parazitul lor. Evident, această concluzie nu poate fi comună și pentru polimerii biologici ai aminoacizilor – proteinele, care se caracterizează prin specificitate.

Rezultate întrucâtva neașteptate au fost obținute în procesul comparării coraporturilor cantitative ale aminoacizilor la gazdă și parazit. Dacă prezența unor deosebiri pronunțate între gazdă și parazit în ce privește conținutul aminoacizilor liberi părea absolut naturală, atunci analogia destul de accentuată între coraporturile cantitative ale aminoacizilor proteici ai parazitului și gazdei părea dificil de explicat. La început această similitudine a fost explicată prin fenomenul de mimicrie moleculară sau prin adaptarea structurilor antigenice ale parazitului la cele ale gazdei. Pe de altă parte, e logic, ca numai o parte neînsemnată a structurilor antigenice ale parazitului (din care fac parte și grupele funcționale ale aminoacizilor), situate la suprafața corpului helmintului, să aibă importanță în procesul de elaborare a nereceptivității imunologice a parazitului față de gazdă. De aceea este puțin probabil ca similitudinea coraporturilor aminoacizilor proteici ai gazdei și parazitului să fie determinată, în primul rând, de similitudinea structurilor lor antigenice. Probabil, fenomenul atestat reflectă anumite mecanisme ancestrale de formare a setului general de aminoacizi ai proteinelor oricărui organism. Există informații cu privire la sinteza abiogenă a aminoacizilor pe Pământul prebiologic. Aceste date mărturisesc în favoarea acumulării preferențiale a unor asemenea aminoacizi, ca glicina, serina, alanina, acizii bicarbonici, adică a aminoacizilor cu cea mai mare pondere în proteinele sumare ale organismelor contemporane. În orice caz similitudinea cantitativă a seturilor de aminoacizi ai gazdei și parazitului, variabilitatea mică a acestora în diferite

condiții ecologo-fiziologice pot fi utilizate în cercetările consacrate biochimiei ecologice a helminților în calitate de criteriu de siguranță a metodei de determinare a aminoacizilor și chiar a calității materialului colectat. În cazul, în care cercetătorul atestă o variabilitate pronunțată a acestui indiciu, el trebuie să caute cauza acestui fenomen. Dacă, însă, acest indiciu variază puțin, concomitent cu variația pronunțată a aminoacizilor liberi, atunci se poate afirma cu siguranță că variabilitatea setului aminoacizilor liberi este condiționată într-adevăr de factorii ecologici, dar nu este legată de imperfecțiunea metodei.

2. După cum s-a menționat mai sus, compararea statutelor biochimice ale gazdei și parazitului a fost efectuată și în scopul identificării la paraziți a unor substanțe cu masă moleculară mică care ar lipsi la gazdă. Dacă asemenea substanțe ar fi găsite, atunci sistemele biologice, în care ele participă, ar putea servi drept ținte de aplicare a unor preparate antihelmintice noi. Depistarea unor asemenea substanțe ar deschide automat perspectiva studierii tuturor sistemelor biochimice cu care acestea ar putea fi legate. În procesul realizării lucrării de față asemenea substanțe nu au fost găsite. E posibil că o analiză mai minuțioasă va permite de a găsi și printre aminoacizi anumiți compuși minori specifici pentru parazit.

3. În calitate de mediu de gradul 1 pentru parazit servește însăși gazda (adică celulele, țesuturile, lichidul intracelular sau conținutul chimului alimentar pentru paraziții intestinali). În calitate de mediu de gradul II servește mediul de trai al gazdei [1]. Deoarece parazitul achiziționează de la gazdă toate componentele necesare pentru viață, nu este neobișnuit faptul, că între țesuturile gazdei și cele ale parazitului există sub unele aspecte similitudini. Acest fenomen este deosebit de pronunțat la cestode și la mermitide, care nu posedă sistem digestiv ca organ și absorb întreaga cantitate de hrană prin suprafața corpului (cu ajutorul mecanismelor de pinocitoză şi ale transportului activ și pasiv).

Modificările în mediul de gradul I, provocate atât de cauze fiziologice interne, cât și de factori abiogeni externi (fluctuații sezoniere ale temperaturii, cantității de hrană, apariția substanțelor poluante etc.) se reflectă întotdeauna asupra coraporturilor cantitative ale aminoacizilor liberi, precum și asupra ponderii lipidelor, glucidelor și proteinelor în țesuturile partenerilor sistemului „parazit-gazdă”. Deosebit de pronunțat se manifestă aceasta în ce privește aminoacizii liberi, fapt care complică înțelegerea acestui mecanism biochimic suplu.

4. Nu numai gazda influențează asupra parazitului, ci și parazitul are o acțiune determinată asupra gazdei. Deosebit de accentuată este această interdependență în invazia multiplă. Pe baza datelor din lucrarea noastră pot fi elaborate numeroase teste biochimice, cu ajutorul cărora se poate judeca cu destulă siguranță despre gradul și caracterul influenței paraziților tisulari asupra organismului gazdei. Compararea statutelor biochimice ale țesuturilor gazdelor sănătoase cu cele ale gazdelor infestate a arătat că prezența parazitului provoacă în țesuturile gazdei modificări cantitative ale conținutului de aminoacizi, lipide, glucide, proteine. În țesuturile gazdei infestate scade de 1,5-2,0 ori cantitatea totală a aminoacizilor liberi și cu 40-100 % ponderea relativă a fiecărui

aminoacid indispensabil în parte. Se creează impresia că sub influența parazitului are loc modificarea permeabilității membranelor celulare ale gazdei, care realizează absorbția selectivă a aminoacizilor indispensabili, în primul rând. Acest fapt este ilustrat și de creșterea ponderii proteinelor în organismele gazdelor infestate. Chimismul acestui proces nu este clar. Cât privește absorbția selectivă de către helminți a aminoacizilor indispensabili, aici sunt posibile 2 mecanisme: transportul real selectiv al acestor acizi prin membranele parazitului sau restabilirea mai slabă a conținutului normal al setului aminoacizilor indispensabili în celulele gazdei în raport cu aminoacizii obișnuiți. Acest fenomen pare natural, deoarece aminoacizii indispensabili nimeresc în țesuturile gazdei numai din hrană, iar cei obișnuiți pot fi sintetizați rapid din substraturi intermediare variate de către sistemele biochimice ale gazdei însăși. Nu încape îndoială că elucidarea acestor chestiuni poate avea importanță nu numai teoretică, ci și practică, în special, pentru sinteza unor preparate antihelmintice noi care ar putea să blocheze mecanismele de transport al aminoacizilor la helminți.

Fluctuațiile accentuate ale ponderii lipidelor, glucidelor și proteinelor la gazda infestată în raport cu cea sănătoasă nu provoacă schimbări ale valorii calorice a țesuturilor acestora, care este practic aceeași pentru ambele categorii de probe analizate.

5. Chestiunea referitoare la caracterul de perspectivă al studierii anumitor substanțe pentru elucidarea de mai departe a aspectelor biochimice în sistemul „parazit-gazdă”, după părerea noastră, merită toată atenția. Utilizarea mai largă a metodelor moderne biochimice ar putea contribui la elucidarea importanței din punct de vedere ecologo-fiziologic a unor substanțe încă puțin studiate, în special, a glucidelor, prostaglandinelor (influența cărora asupra organismului helminților nu este stabilită), izofermenților și a formelor multiple de enzime (de care, posibil, depinde adaptarea parazitului la o gazdă sau alta), a diferitelor substanțe biologic active cu masă moleculară mică (hormoni ș.a.), importanța cărora în adaptarea helminților la gazdă în anumite cazuri poate fi determinantă.

Un câmp larg de activitate se deschide și pentru studiul aspectelor bioenergetice în sistemul „parazit-gazdă” care, practic, nu sunt tratate în literatura de specialitate. Prezintă interes și chestiunea cu privire la existența anumitor particularități în adaptarea biochimică a paraziților gazdelor ectoterme, care îi disting de paraziții vertebratelor endoterme.

Perspectivele studierii aminoacizilor în sistemul „parazit-gazdă” sunt condiţionate de posibilitatea reproducerii experimentale a condițiilor mediului. Aceasta ar permite identificarea modificărilor setului de aminoacizi, modificări, care ar reflecta proporțional schimbările survenite în mediul de cultură. Altă problemă care merită toată atenția este elucidarea mecanismului de absorbție a unor aminoacizi de către paraziții tisulari.

În fața cercetătorilor preocupați de studiul setului de aminoacizi ai parazitului stă și sarcina (nerealizată încă nici pentru unul dintre helminți) determinării succesiunii aminoacizilor în proteinele pure ale paraziților. Este importantă elucidarea rolului biochimic al helminților în menținerea zoonozelor, inclusiv clarificarea mecanismelor de adaptare metabolică și a interacțiunilor cu sistemul imunitar al gazdei [2].

CONCLUZII

1. S-a demonstrat că gazda și parazitul tisular prezintă similitudini calitative și cantitative dintre seturile de aminoacizi proteici. Aceste similitudini sunt cu atât mai pronunțate, cu cât este mai înalt gradul de specificitate a partenerilor sistemului respectiv „parazit-gazdă".

2. Au fost determinați coeficienții, care exprimă raportul cantitativ al aminoacizilor bazici (arginina, lizina, histidina) față de cei bicarbonici (acizii asparagic și glutamic) și care sunt foarte apropiați ca valoare pentru proteinele parazitului *Hydromermis contorta* (0,92) și cele ale gazdei neparazitate *Chironomus plumosus* (0,96). Se presupune că această similitudine ar putea fi condiționată de coevoluția structurilor antigenice ale partenerilor sistemului „parazit-gazdă".

3. S-a constatat că gazda și parazitul tisular prezintă deosebiri semnificative dintre seturile de aminoacizi liberi din organismele lor. Parazitul absoarbe selectiv, în primul rând, aminoacizii indispensabili, ponderea cărora în organismul gazdei parazitate este diminuată în cel mai înalt grad. Deci, gazdele parazitate prezintă diminuări importante ale ponderii aminoacizilor esențiali, în raport cu gazdele neparazitate. Valorile sumelor entropiilor seturilor de aminoacizi liberi au tendința de creștere la gazdele infectate în raport cu cele neinfectate. Acest fapt este condiționat de scăderea ponderii unor aminoacizi ca rezultat al absorbției selective de către parazit.

4. S-a constatat că în corpul hironomidelor parazitate cresc semnificativ ponderile Mn și Cu, fapt, ce poate fi legat de intensificarea metabolismului gazdei sub influența parazitului.

REFERINȚE:

1. ERHAN, D. Paraziții, parazitismul și impactul acestora asupra mediului ambiant. Chișinău: Tipografia Centrală, 2024. 856 p.
2. BARTLEY D. M., RANA K., IMMINK A. J. FAO Aquaculture Newsletter - December 1997 - No.17.
3. GHERASIM, E. Fauna helmintică a amfibienilor (*Amphibia*), importanța acestora ca vectori în formarea și menținerea zoonozelor parazitare. Rezumatul tezei de doctor habilitat în științe biologice. Chișinău, 2025. https://msuir.usm.md/server/api/core/bitstreams/37894528-80c7-4c63-aaea-49b9b018b9d8/content.

N.B. *Subprogram 010701 al USM ,,Evaluarea structurii și funcționării lumii animale și ecosistemelor acvatice sub influența factorilor biotici și abiotici în contextul asigurării securității ecologice și bunăstării populației".*

ACTIVITY OF PANCREATIC AMYLASE AND SMALL INTESTINE CARBOHYDRASES IN WHITE RATS WITH DIFFERENT LEVELS OF STRESS REACTIVITY DEPENDING ON THE PROTEIN CONTENT IN THE DIET

ACTIVITATEA AMILAZEI PANCREATICE ȘI A CARBOHIDRAZAZELOR DIN INTESTINUL SUBȚIRE AL ȘOBOLANILOR ALBI CU DIFERITE NIVELURI DE REACTIVITATE LA STRES, ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE PROTEINE DIN DIETĂ

CZU: 612.333:612.398 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.47**

Vladimir ȘEPTIȚCHI
ORCID: 0000-0002-6306-7021
E-mail: septitchi@mail.ru
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Olesea GROSUL-RAILEANU
ORCID: 0000-0002-4305-3503
E-mail: railianu.radu@yandex.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Ana LEORDA
ORCID: 0000-0002-2923-8843
E-mail: leorda-ana64@mail.ru
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Alexandr ȘEPTIȚCHI
ORCID: 0009-0002-2948-3600
E-mail: babukan.piter@gmail.com,
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *În experimente pe șobolani masculi albi s-a depistat că cea mai mare activitate a α-amilazei pancreatice se observă la animalele cu un nivel ridicat de reactivitate constituțională la stres, iar cea mai scăzută - cu un nivel mediu de reactivitate constituțională la stres. În schimb, cea mai mare activitate a carbohidrazelor din intestinul subțire se observă la animalele cu un nivel mediu de reactivitate constituțională la stres și practic nu diferă între animalele cu niveluri scăzute și ridicate de reactivitate constituțională la stres. Activitatea enzimelor amilolitice ale pancreasului și intestinului subțire la șobolanii cu diferite niveluri de reactivitate constituțională la stres scade în principal pe măsură ce conținutul de proteine din alimentație crește, totuși, aceste modificări depind de tipul constituției, atingând valori maxime la animalele cu un nivel ridicat de reactivitate constituțională la stres. Rezultatele obținute demonstrează existența unei legături*

între reactivitatea la stres determinată genetic a organismului şi funcţia digestivă a intestinului subţire şi argumentează perspectivele cercetărilor ulterioare în această direcţie.

Cuvinte-cheie*: enzime digestive, pancreas, intestin subțire, reactivitate constituțională la stres, dietă.*

INTRODUCTION

A number of studies have shown the relationship between a person's belonging to one or another basic type of phenotypic constitution and the expression of genes encoding metabolic enzymes, biochemical parameters of metabolism, peculiarities of eating behavior, the size of digestive organs, structural parameters of the intestine, the level of synthesis of certain intestinal hormones, predisposition to certain diseases of the digestive organs [1, 2, 3, 4, 5, 6]. At the same time, the constitutional features of the activity of digestive enzymes have been studied extremely insufficiently, and currently there are practically no generally accepted ideas about the features of digestion depending on the type of constitution. Individual studies have revealed differences in changes in the enzyme-secreting function of the stomach and pancreas in individuals of different somatotypes in response to stimulation of the digestive glands [7, 8], some structural and functional features of the intestine in model animals with different levels of stress reactivity corresponding to a certain type of constitution are shown [9 10, 11, 12, 13]. For the development of a sanogenic nutrition system, which provides, in particular, the individualization of the diet [14], and for solving the problems of an individual approach to the prevention and correction of disorders of digestive functions, it is important to identify the constitutional features of the functioning of the digestive system.

The aim of the work is to study the activity of pancreatic α-amylase and carbohydrases of the mucous membrane of the small intestine of white rats with different levels of constitutional stress reactivity depending on the protein content in the diet.

MATERIAL AND METHODS

It is known that each type of constitution has its own type of stress reactivity. This is the basis for the methodology of dividing experimental animals into types of constitution corresponding to a certain level of stress reactivity, which was used in this work. Rats were divided into three groups depending on the level of constitutional stress reactivity: 1 - high stress reactivity; 2 – medium stress reactivity; 3 – low stress reactivity. Constitutional stress reactivity was assessed using a set of behavioral tests and analysis of histopathological differences in the tissues of the stomach, thymus and adrenal glands in some animals of each group after immobilization stress. As behavioral tests, the most adequate models giving an objective assessment were used – the "forced swimming" method and the "water island" method.

The activity of α-amylase of the pancreas and the total activity of carbohydrases of the mucous membrane of the small intestine were determined in the homogenates of these organs using known biochemical methods.

Since carbohydrates in the diet play a key role as a substrate regulator of digestion of poly- and disaccharides, the contribution of dietary proteins can only be assessed using experimental diets with a constant carbohydrate content. In separate series of experiments, each of the three groups of rats with a certain level of constitutional stress reactivity (high, medium and low) was divided into 4 subgroups according to the protein content in the diet. The animals were kept on diets with different protein content for 2 months. Calculations were made in such a way that carbohydrates accounted for 50% of the total amount of energy consumed. In animals of 1 and 2 experimental subgroups proteins accounted for 15 and 18% of the total amount of energy consumed, respectively, and in animals of 3 and 4 subgroups - 32 and 40% (Table).

Table. The Content of Micronutrients (in % of the total amount of energy consumed) in Experimental Diets of Animals with Different Levels of Constitutional Stress Reactivity in the Study of the Effect of Protein on the Activity of Amylolytic Enzymes

Macronutrients	Subgroups of Animals			
	I	II	III	IV
Proteins	15	18	32	40
Fats	35	32	18	10
Carbohydrates	50	50	50	50

RESULTS AND DISCUSSION

Preliminary experiments to study the activity of amylolytic enzymes of the pancreas and small intestine, depending on belonging to a particular type of constitution in rats kept on a standard diet, showed that the activity of digestive enzymes differs significantly depending on the level of constitutional stress reactivity. It was found that the activity of α-amylase in pancreatic tissues in animals with an average level of constitutional stress reactivity (normosthenics) is significantly lower than in animals with a high level of constitutional stress reactivity (asthenics) (2-2.5 times), at the same time, in rats with a low level of constitutional stress reactivity (hypersthenics) the activity of this enzyme, although lower than that of asthenics, is significantly higher than that of normosthenics (by 1.2 – 1.5 times), which generally contradicts existing ideas (Kosolapov O.N., 1999, Nikolaev V.G., 2008), which are supported only by isolated results. Thus, according to the data obtained, the minimum activity of pancreatic α-amylase is observed in normosthenics and the maximum is observed in animals with a high level of constitutional stress reactivity. A completely different picture of the dependence of the activity of amylolytic enzymes on the type of constitution is observed in the mucous membrane of the small intestine. The maximum activity of carbohydrases of the mucous membrane of the small intestine is observed in normosthenics, and the minimum – in

animals with a high level of constitutional stress reactivity, while in hypersthenics the total activity of carbohydrases is slightly higher than in asthenics, which in both cases contradicts the data available in the literature. Perhaps this is due to the fact that the level of activity of carbohydrases enzyme systems of the small intestine depends more on the mechanism of substrate regulation compared to the apparatus of synthesis of pancreatic enzymes. These assumptions were verified by experiments on the study of the activity of amylolytic digestive enzymes in animals with different types of constitution, depending on the caloric structure of the diet.

According to the data obtained, the activity of pancreatic α-amylase in animals with a high level of constitutional stress reactivity did not significantly differ in groups of experimental animals 1 (233.33±7.40 mmol/g□min) and 2 (228.14±25.15 mmol/g□min), whose diets contained 15 and 18% protein by calories, respectively. However, it is significantly lower (by 1.8 times) in groups 3 (126.90±8.83 mmol/g□min) and 4 (134.0±6.43 mmol/g□min), whose animals were on diets with the highest amount of protein in the diet (32 and 40%), which may indicate on the inhibitory effect of an increase in animal protein in the diet by 1.5 times or more on the activity of pancreatic α-amylase. In animals with a normosthenic constitution, an increase in protein content in the diet also contributes to a decrease in the activity of pancreatic α-amylase, however, to a lesser extent compared with asthenics. In hypersthenics, the pancreatic α-amylase synthesis apparatus is most resistant to food factors, so the activity of this enzyme does not change significantly depending on the composition of the diet.

When studying the activity of glycolytic enzymes of the small intestine, it was found that in animals with a high and, to a lesser extent, an average level of constitutional stress reactivity, the total activity of small intestine carbohydrases progressively decreases as the protein content in the diet increases. Based on the fact that the carbohydrate content practically remains constant, it can be assumed that the essential value in this case is not the proportion of carbohydrates in the total composition of the diet, but the ratio of carbohydrates and proteins, and since it shifts in favor of proteins, the activity of carbohydrates decreases, and the activity of proteolytic enzymes increases (Strutinsky F.A., Septitchi V.A., 2017). The apparatus for synthesizing small intestine carbohydrases in animals with a low level of constitutional stress reactivity is apparently the most resistant to the action of food factors, therefore, the activity of these enzymes, as well as pancreatic α-amylase, does not change significantly depending on the composition of the diet.

Thus, the activity of amylolytic enzymes of the pancreas and small intestine depends on the level of constitutional stress reactivity of the body. Noticeable differences were found in the response of the enzyme systems of the pancreas and small intestine of animals with different levels of constitutional stress reactivity to changes in the structure of caloric intake, which to a certain extent shed light on the mechanisms of regulation and maintenance of the constitutional specificity of enzyme systems.

CONCLUSIONS

1. The activity of amylolytic enzymes of the pancreas and small intestine depends on the level of constitutional stress reactivity of the body. The highest activity of pancreatic α-amylase is observed in animals with a high level of constitutional stress reactivity, and the lowest in animals with an average level of constitutional stress reactivity. In contrast, the highest total activity of small intestine carbohydrases is observed in animals with an average level of constitutional stress reactivity, and it practically does not differ between animals with low and high levels of constitutional stress reactivity.

2. The activity of pancreatic α-amylase and small intestine carbohydrases in rats with different levels of constitutional stress reactivity mainly decreases with increasing protein content in the diet, however, these changes depend on the type of constitution, reaching maximum values in animals with a high level of constitutional stress reactivity and minimum values in animals with low the level of constitutional stress reactivity.

3. The obtained results demonstrate the existence of a connection between the genetically determined stress reactivity of the body and the digestive function of the small intestine and the prospects for further research in this direction.

REFERENCES:

1. BAEK T.H., CHOI J.R., PARK S.S. A correlation research of digestion according to Sasang constitution. In: *Journal of Sasang Constitutional Medicine*. 2004, nr. 16, p. 112-119.
2. НИКОЛАЕВ В.Г. Использование антропологического подхода в клинической медицине. В: *Актуальные проблемы морфологии*. Красноярск: Изд-во КрасГМА, 2008. с. 93-95.
3. HOTOLEANU C., POPP R., TRIFA A.P. ET AL. Genetic determination of irritable bowel syndrome. In: *World J. Gastroenterol.* 2008. vol. 14. nr. 4. p. 6636-6640.
4. PARK S., REW J., LEE S. ET AL. Association of CCK (1) Receptor Gene Polymorphisms and Irritable Bowel Syndrome in Korean. In: *J. Neurogastroenterol. Motil*. 2010. vol.16. nr. 1. p. 71-76.
5. LEE J., HAN S.Y., HWANG M. ET AL. Biopsychological and pathophysiological features of Cold-Heat subgroup of Sasang typology with Sasang Digestive Function Inventory, Sasang Personality Questionnaire and Body Mass Index. In: *Integr Med Res*. 2018, vol. 7, nr. 1, p. 68-76.
6. LEE J., LEE J., SHINH., KIM K.-S. Suggestion of new possibilities in approaching individual variability in appetite through constitutional typology: a pilot study. In: *BMC Complement Altern. Med.* 2012. nr. 12. p. 122.
7. КОСОЛАПОВ О.Н. Влияние различного уровня двигательной активности и соматотипа на секреторную функцию желудка и поджелудочной железы. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Курган, 1999.

8. ГРИГОРОВИЧ М.А. Секреторная функция и морфологические особенности слизистой оболочки желудка у людей разных типов телосложения. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Курган, 2003.
9. СТРУТИНСКИЙ Ф.А., ШЕПТИЦКИЙ В.А., ЗОЛОТАРЕВА Г.В. и др. Влияние рационов для астеника на активность протеолитических ферментов тонкого кишечника. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2017, т. 27, № 5, Приложение № 50, 34.
10. ГРУЗДКОВ, А. А., ДМИТРИЕВА, Ю. В., АЛЕКСЕЕВА, А. С. и др. Оценка уровня всасывания глюкозы в тонкой кишке крыс различных линий в естественных условиях. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии.* 2018, т. 54, № 4, с. 271-277.
11. САВОЧКИНА Е.В., ДМИТРИЕВА Ю.В., ПАВЛОВА М.Б. И ДР. Структурные и функциональные параметры кишечника у крыс с различной возбудимостью нервной системы. *Интегративная физиология.* 2022, Том 3 № 1, с. 110-117.
12. GROSUL-RAILEANU O., SHEPTITSKY V. Activity of digestive enzymes of the small intestine of rats with different constitutional stress reactivity. *National conference with international participation: Life sciences in the dialogue of generations: connections between universities, academia and business community*. Chisinau, 2022, p. 132.
13. ȘEPTIȚCHI V., GROSUL-RAILEANU O., LEORDA A. Activity of carbohydrases and proteases of the mucous membrane of the small intestine of albino rats with different levels of constitutional stress reactivity. Integrare prin Cercetare şi Inovare: conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională. În: *Rezumatele comunicărilor. Ştiinţe ale Naturii şi exacte*, Chișinău, 2022, p. 109-111.
14. ФУРДУЙ Ф.И., ЧОКИНЭ В.К., ВУДУ Л.Ф. Предпосылки и основные положения санокреатологической теории питания человека. III. Санокреатологическая теория питания человека În: Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii, 2011, nr. 2, p. 15-19.

CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF MOTHS (LEPIDOPTERA: BOMBYCOIDEA, LASIOCAMPOIDEA, HEPIALOIDEA, ZYGAENOIDEA, COSSOIDEA, THYRIDOIDEA, DREPANOIDEA, PYRALOIDEA) FROM ORHEI NATIONAL PARK

CONTRIBUȚII LA CUNOAȘTEREA FLUTURILOR NOCTURNI (LEPIDOPTERA: BOMBYCOIDEA, LASIOCAMPOIDEA, HEPIALOIDEA, ZYGAENOIDEA, COSSOIDEA, THYRIDOIDEA, DREPANOIDEA, PYRALOIDEA) DIN PARCUL NAȚIONAL ORHEI

CZU: 595.78(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.48**

Cristina ȚUGULEA
ORCID: 0000-0002-5882-4753
E-mail: tuguleacristy@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Lucrarea prezintă diversitatea faunistică a fluturilor nocturni (Lepidoptera: Bombycoidea, Lasiocampoidea, Hepialoidea, Zygaenoidea, Cossoidea, Thyridoidea, Drepanoidea, Pyraloidea) din Parcul Național Orhei. În rezultatul cercetărilor efectuate, în Parcul Național Orhei au fost identificate 78 de specii de fluturi nocturni ce aparțin la 13 familii: Hepialidae (3 specii), Limacoidae (2), Zygaenidae (12), Cossidae (5), Sesiidae (5), Thyrididae (1), Crambidae (2), Drepanidae (16), Lasiocampidae (11), Brahmeidae (2), Endromidae (1), Saturniidae (1) și Sphingidae (17 specii). Șapte specii sunt rare și protejate de legislația Republicii Moldova: Saturnia pyri (Denis, Schiffermüller, 1775) din familia Saturniidae, Acherontia atropos (Linnaeus, 1758), Dolbina elegans A. Bang-Haas, 1912, Marumba quercus (Denis, Schiffermüller, 1775) și Proserpinus proserpina (Pallas, 1772) din familia Sphingidae, Callimorpha dominula (Linnaeus, 1758) și Euplagia quadripunctaria (Poda, 1761) din familia Erebidae. Cercetările au fost efectuate în diverse localități ale Parcului Național Orhei (Ivancea, Vatici, Trebujeni, Romanești, Țigănești, Peresecina, Butuceni, Bravicea și Selișteˮ în perioada de vegetație a anilor 2012-2025.*

Cuvinte-cheie: *diversitate, fluturi nocturni, Lepidoptera, Parcul Național Orhei.*

INTRODUCTION

In the fauna of the Republic of Moldova, over 1000 species of macrolepidoptera from various families have been recorded and published so far. Of these, over 140 species of diurnal butterflies and over 1000 species are represented by nocturnal lepidopteran species [1, p. 99].

The interest for the knowledge of Lepidoptera systematic group was manifested in Moldova from the beginning of the 20th century. The first catalogue for the Moldova

Lepidoptera was published by Miller and Zubowsky in the first number of the journal "*Works of the Bessarabian Society of Natural Scientists and Amateurs of Natural History*" in 1908. A great value for butterfly fauna is the work of Miller and Zubowsky, later joined by Ruscinski, who published a series of articles between 1908-1937, with a major impact on the study of butterflies, registering many species for the territory of Bessarabia and being the first and some of most valuable taxonomic works for this purpose [1, p. 99-106]. The study of diurnal butterflies in Orhei National Park reveals a significant number, 94 species, which represent 68% of the total number of diurnal butterfly species in the fauna of the Republic of Moldova [1, p. 99]. These are some of the few works where we can find mentions of some species reported on the territory of the park.

The science popularization brochure "*Valori naturale ale Parcului Național Orhei*" mentioned species included in the Red Book of the Republic of Moldova and various Red Lists at the European and world level, such as *Callimorpha quadripunctaria*, *Acherontia atropos*, *Saturnia pyri*, *Dolbina elegans*, *Iphiclides podalirius*, *Parnassius mnemosyne*, *Zerynthia polyxena*, *Parnassius mnemosyne* and *Zerynthia polyxena* and 3 species included in Annexes II and IV to the European Habitat Directive – *Callimorpha quadripunctaria*, *Parnassius mnemosyne*, *Zerynthia polyxena* [2].

The aim of this research was to inventory and study the species of moths identified on the territory of the Orhei National Park, especially the identification and study of rare and new species that require protection and conservation. This article is a continuation of a series of works dedicated to the study of lepidoptera in Orhei National Park. This article contributes to the understanding of the distribution of lepidopteran species in the Republic of Moldova and Europe.

MATERIAL AND METHODS

The Orhei National Park is located in the central area of the Republic of Moldova, with an area of 33,792.09 ha, constitutes about 1% of the area of the Republic of Moldova, including four districts: Orhei, Strășeni, Călărași and Criuleni and 18 localities. From the entire surface of the park, 18.5 thousand ha consists of forests belonging to the Orhei and Călărași forestry enterprises. The Orhei National Park is located in the Codrilor Plateau (90.7%) and in the silvosteppe region (9.3%). The slopes of the Codrii heights are characterized by a sandy relief, represented by narrow ridges, deep valleys and hills. The landscape of the park is hilly, partly covered with forest. The territory is crossed by valleys and the Răut River flows through the park. The Orhei National Park was founded in 2022 and represents a protected natural area, which contributes to stopping the degradation of forest ecosystems, meadows and contributes to the protection of the flora and fauna characteristic of the existing habitats in the area [3, 4]. Even though the territory of Orhei National Park is located in the central part of the Republic of Moldova, an area with a rich natural heritage, the diversity of insect species in this area is insufficiently studied.

The forest vegetation of the Orhei National Park consists of several oak species (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) located on the plateau and on the slopes with northern exposure. Sessile oak mixed with hornbeam (*Carpinus betulus*) are found on the slopes with north-east and east exposure. Sessile oak with linden (*Tilia tomentosa*) and ash (*Fraxinus excelsior*) are found on the slopes with south and south-west exposure. At lower altitudes, oak forests with hornbeam and sessile with pedunculate oaks are found. Willow forests (*Salix* sp.) were formed in the meadows of the medium-sized rivers Ichel, Cula, Vatici and Răut [2].

The research was carried out during the vegetation period of 2012-2025. The entomological material was collected in different habitats of the Orhei National Park, like forests, forest edges, meadows and calcareous canyons from 9 localities on the territory of the Orhei National Park: Ivancea (Orhei district), Vatici (Orhei district), Trebujeni (Orhei district), Romanești (Strășeni district), Țigănești (Strășeni district), Peresecina (Orhei district), Butuceni (Orhei district), Bravicea (Călărași district) and Selișteе (Orhei district).

The moths collections were carried out from March to November by the following methods: manual collection, with the entomological net, at the standard electric lamp (100 W), with the help of an illuminated white cloth and by installing ultraviolet and white light traps. The nomenclature and classification was given according to sources [5, 6, 7]. We have also made genitalia examination for species that are difficult to determine.

RESULTS AND DISCUSSION

The variety of landscapes, the favorable climatic conditions and the diverse spatial structure of the habitats have created optimal conditions for the existence and successful reproduction of butterfly populations on the territory of the Orhei National Park. As a result of the researches carried out, a total of 78 species of moths were identified in Orhei National Park, belonging to 13 families: Hepialidae (3 species), Limacoidae (2), Zygaenidae (12), Cossidae (5), Sesiidae (5), Thyrididae (1), Crambidae (2), Drepanidae (16), Lasiocampidae (11), Brahmeidae (2), Endromidae (1), Saturniidae (1) and Sphingidae (17 species) (table 1).

Table 1. The diversity of moth (Lepidoptera: Bombycoidea, Lasiocampoidea, Hepialoidea, Zygaenoidea, Cossoidea, Thyridoidea, Drepanoidea, Pyraloidea) from the Orhei National Park

No.	Species	Collection sites								
		Ivancea	Vatici	Trebujeni	Romanești	Țigănești	Peresecina	Butuceni	Bravicea	Selișteе
SUPERFAMILY BOMBYCOIDEA LATREILLE, 1802										
Family Brahmaeidae Swinhoe, 1892										
1.	*Lemonia dumi* (Linnaeus, 1761)	+								
2.	*Lemonia taraxaci* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+								
Family Endromidae Boisduval, 1828										
3.	*Endromis versicolora* (Linnaeus, 1758)	+								
Family Saturniidae Boisduval, 1837										
4.	*Saturnia pyri* (Denis, Schiffermüller, 1775)					+				+
Family Sphingidae Latreille, 1802										
5.	*Acherontia atropos* (Linnaeus, 1758)					+				
6.	*Agrius convolvuli* (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7.	*Deilephila elpenor* (Linnaeus, 1758)	+	+			+				+
8.	*Deilephila porcellus* (Linnaeus, 1758)	+	+			+	+		+	+
9.	*Dolbina elegans* A. Bang-Haas, 1912					+				
10.	*Hemaris tityus* (Linnaeus, 1758)									+
11.	*Hyles gallii* (Rottemburg, 1775)									+
12.	*Hyles euphorbiae* (Linnaeus, 1758)	+								
13.	*Hyles livornica* (Esper, 1780)	+								
14.	*Laothoe populi* (Linnaeus, 1758)		+							
15.	*Macroglossum stellatarum* (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16.	*Marumba quercus* (Denis, Schiffermüller, 1775)		+							
17.	*Mimas tiliae* (Linnaeus, 1758)					+				
18.	*Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772)	+								
19.	*Smerinthus ocellatus* (Linnaeus, 1758)	+								

20.	*Sphinx ligustri* (Linnaeus, 1758)	+								
21.	*Sphinx pinastri* Linnaeus, 1758	+								
SUPERFAMILY LASIOCAMPOIDEA HARRIS, 1841										
Family Lasiocampidae Harris, 1841										
22.	*Cosmotriche lobulina* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+								
23.	*Dendrolimus pini* (Linnaeus, 1758)									+
24.	*Gastropacha quercifolia* (Linnaeus, 1758)	+								
25.	*Lasiocampa quercus* (Linnaeus, 1758)	+								
26.	*Lasiocampa trifolii* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+								
27.	*Macrothylacia rubi* (Linnaeus, 1758)	+								
28.	*Malacosoma neustria* (Linnaeus, 1758)	+								
29.	*Odonestis pruni* (Linnaeus, 1758)	+								
30.	*Phyllodesma tremulifolia* (Hübner, 1810)	+								
31.	*Poecilocampa populi* (Linnaeus, 1758)	+								
32.	*Trichiura crataegi* (Linnaeus, 1758)	+								
SUPERFAMILY HEPIALOIDEA STEPHENS, 1829										
Family Hepialidae Stephens, 1829										
33.	***Hepialus humuli* (Linnaeus, 1758)**	+				+				
34.	***Korscheltellus lupulina* (Linnaeus, 1758)**	+				+				
35.	*Triodia sylvina* (Linnaeus, 1761)	+					+			
SUPERFAMILY ZYGAENOIDEA LATREILLE, 1809										
Family Limacodidae Duponchel, 1845										
36.	*Apoda limacodes* (Hufnagel, 1766)	+	+						+	+
37.	*Heterogenea asella* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+				+				
Family Zygaenidae Latreille, 1809										
38.	*Adscita statices* (Linnaeus, 1758)	+								
39.	*Jordanita globulariae* (Hübner, 1793)					+				+
40.	*Rhagades pruni* (Denis, Schiffermüller, 1775)									+
41.	*Zygaena angelicae* Ochsenheimer, 1808						+			

42.	*Zygaena carniolica* (Scopoli, 1763)		+			+				
43.	*Zygaena ephialtes* (Linnaeus, 1767)									+
44.	*Zygaena filipendulae* (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+		+			+
45.	*Zygaena lonicerae* (Scheven, 1777)		+							
46.	*Zygaena loti* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+		+		+				
47.	*Zygaena osterodensis* Reiss, 1921		+							
48.	*Zygaena purpuralis* (Brünnich, 1763)								+	
49.	*Zygaena viciae* (Denis, Schiffermüller, 1775)		+							
SUPERFAMILY COSSOIDEA LEACH, 1815										
Family Cossidae Leach, 1815										
50.	*Cossus cossus* (Linnaeus, 1758)	+	+			+				+
51.	*Dyspessa ululа* (Borkhausen, 1790)	+	+							
52.	*Parahypopta caestrum* (Hübner, 1808)	+					+			
53.	*Phragmataecia castaneae* (Hübner, 1790)	+	+			+				+
54.	*Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761)	+							+	
Family Sesiidae Boisduval, 1828										
55.	*Sesia apiformis* (Clerck, 1759)		+							
56.	*Synanthedon conopiformis* (Esper, 1782)								+	
57.	*Synanthedon myopaeformis* (Borkhausen, 1789)	+					+			
58.	*Synanthedon tipuliformis* (Clerck, 1759)	+					+			
59.	*Synanthedon vespiformis* (Linnaeus, 1761)	+					+			
SUPERFAMILY THYRIDOIDEA HERRICH-SCHÄFFER, 1846										
Family Thyrididae Herrich-Schäffer, 1845										
60.	*Thyris fenestrella* (Scopoli, 1763)	+								
SUPERFAMILY DREPANOIDEA BOISDUVAL, 1828										
Family Drepanidae Boisduval, 1828										

61.	*Achlya flavicornis* (Linnaeus, 1758)	+								
62.	*Cilix glaucata* (Scopoli, 1763)									+
63.	*Cymatophorina diluta* (Denis, Schiffermüller, 1775)									+
64.	*Drepana curvatula* (Borkhausen, 1790)		+							
65.	*Drepana falcataria* (Linnaeus, 1758)	+								
66.	*Falcaria lacertinaria* (Linnaeus, 1758)						+			
67.	*Habrosyne pyritoides* (Hufnagel, 1766)	+								
68.	*Ochropacha duplaris* (Linnaeus, 1761)	+								
69.	*Polyploca ridens* (Fabricius, 1787)	+				+				
70.	*Sabra harpagula* (Esper, 1786)	+								
71.	*Tethea ocularis* (Linnaeus, 1767)	+				+				
72.	*Tethea or* (Denis, Schiffermüller, 1775)	+								
73.	*Tetheella fluctuosa* (Hübner, 1803)	+								
74.	*Thyatira batis* (Linnaeus, 1758)					+				
75.	*Watsonalla binaria* (Hufnagel, 1767)					+				
76.	*Watsonalla cultraria* (Fabricius, 1775)					+				
SUPERFAMILY PYRALOIDEA LATREILLE, 1809										
Family Crambidae Latreille, 1810										
77.	*Cydalima perspectalis* (Walker, 1859)					+		+		
78.	*Pyrausta purpuralis* (Linnaeus, 1758)	+								

The Drepanidae and Sphingidae families is the richest in species, recording to 16 species each. beind followed by the Zigaenidae family which includes 12 recorded species and the Lasiocampidae family with 11 species. The Thyrididae, Endromidae and Saturniidae families are represented by only one species each (Figure 1).

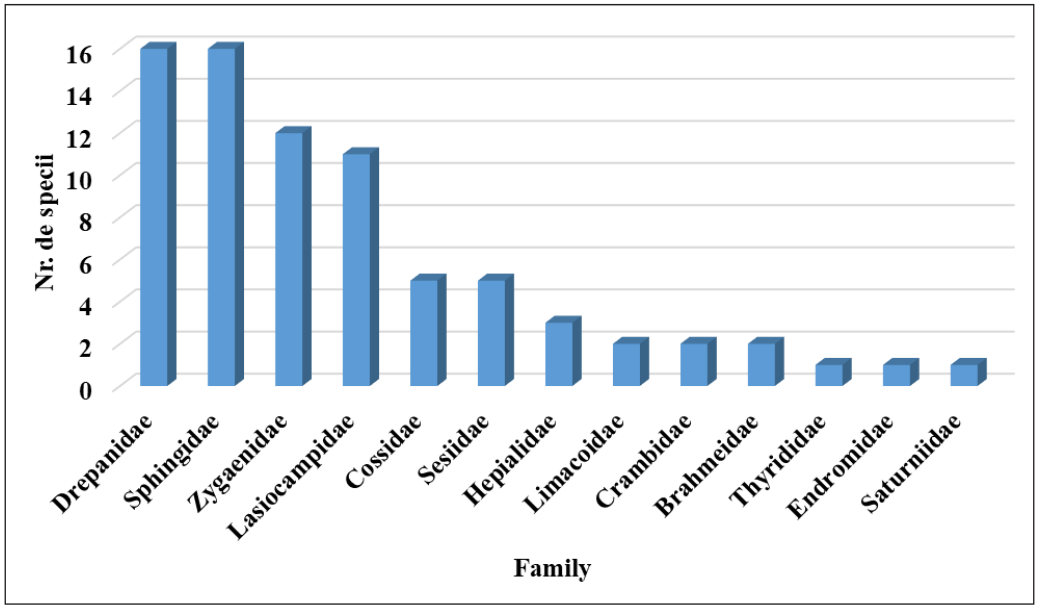


Figure 1. Repartition by families of the moths(Lepidoptera: Bombycoidea, Lasiocampoidea, Hepialoidea, Zygaenoidea, Cossoidea, Thyridoidea, Drepanoidea, Pyraloidea) from the Orhei Natural Park

Seven of reported species are rare and protected by legislation of Republica Moldova: *Saturnia pyri* (Denis, Schiffermüller, 1775) from Saturniidae family, *Acherontia atropos* (Linnaeus, 1758), *Dolbina elegans* A. Bang-Haas, 1912, *Marumba quercus* (Denis, Schiffermüller, 1775) and *Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772) from Sphingidae family, *Callimorpha dominula* (Linnaeus, 1758) and *Euplagia quadripunctaria* (Poda, 1761) from Erebidae family [8, p. 395-406]. Over 70 of the reported species are new to the fauna of Orhei National Park.

This study demonstrates that Orhei National Park has a rich and valuable lepidopteran fauna. The relatively large area of the reserve and the rich diversity of biotopes favour the presence of many lepidopteran species with various ecological preferences. The significant number of registered species, to which the large number of rare species for the fauna of the Republic of Moldova is added, proves that the Orhei National Park is an area of particular importance for the conservation of biological diversity.

Although a relatively large number of species have been identified on the territory of Orhei National Park, most are threatened with extinction, developing fragile populations and having numerous limiting factors. Habitat fragmentation, pollution, intensive agriculture, deforestation, mechanical mowing, overgrazing, fires are the main causes of population decline or even the disappearance of some diurnal butterfly species from the studied area [9, 10].

CONCLUSIONS

As a result of the researches carried out, a total of 78 species of moths were identified in Orhei National Park, belonging to 13 families: Hepialidae (3 species), Limacoidae (2), Zygaenidae (12), Cossidae (5), Sesiidae (5), Thyrididae (1), Crambidae (2), Drepanidae (16), Lasiocampidae (11), Brahmeidae (2), Endromidae (1), Saturniidae (1) and Sphingidae (17 species).

Seven species are rare and protected by legislation of Republica Moldova: *Saturnia pyri* (Denis, Schiffermüller, 1775) from Saturniidae family, *Acherontia atropos* (Linnaeus, 1758), *Dolbina elegans* A. Bang-Haas, 1912, *Marumba quercus* (Denis, Schiffermüller, 1775) and *Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772) from Sphingidae family, *Callimorpha dominula* (Linnaeus, 1758) and *Euplagia quadripunctaria* (Poda, 1761) from Erebidae family.

The significant number of registered species, to which the large number of rare species for the fauna of the Republic of Moldova is added, proves that the Orhei National Park is an area of particular importance for the conservation of biological diversity.

REFERENCES:

1. ȚUGULEA, C. Contributions to the knowledge of diurnal butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea) from Orhei National Park. In: *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii şi comunicări. Ştiinţele Naturii*. 2024. nr. 1(40), p. 99-106. ISSN 1454-6914.
2. MUNTEANU, A., COVALI, V., ŢÎCU, L., DERJANSCHI, V., ROTARU, A.. *Valori naturale ale Parcului Naţional Orhei*. Avalaible: 2011https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/md/ORhei.pdf [Accessed: 17.02.2014].
3. *Parcul Naţional Orhei – potenţial natural şi turistic*. Avalaible: https://ecopresa.md/parcul-national-orhei-potential-natural-si-turistic/ [Accesed: December 2025].
4. *Orheiul Vechi Archaeological Landscape*". *UNESCO World Heritage Centre*. Avalaible: https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6220/ [Accesed: December 2023].
5. FIBIGER, M., HACKER, H. (2005) Systematic List of the Noctuidae of Europe (Notodontidae, Nolidae, Arctiidae, Lymantriidae, Erebidae, Micronoctuidae, and Noctuidae). 2005. Esperiana. Buchreihe zur Entomologie 11, p. 93-205.
6. *Lepidoptera Mundi (formerly European Butterflies and Moths)*. Avalaible: https://lepidoptera.eu [accessed: 2024-2025].
7. *Lepiforum: Bestimmung von Schmetterlingen (Lepidoptera) und ihren Präimaginalstadien*. Avalaible: http:// www.lepiforum.de [accessed: 2024-2025].

8. *Cartea Roşie a Republicii Moldova*. Ediţia a 3-a. Chişinău, 2015. p. 395-406.
9. ȚUGULEA, C., RÁKOSY, L. New and rare noctuid species (Lepidoptera, Noctuidae) in the fauna of the Republic of Moldova. 2021. In: *Entomologica romanica* 25, p. 5-14. ISSN 1224-2594.
10. ȚUGULEA, C., BACAL, S., BUȘMACHIU, G. *Specii de insecte rare din Republica Moldova.* 2021. Institutul de Zoologie, Chișinău: S. n., 44 p. ISBN 978-5-88554-039-1.

N.B. *The researches were funded by the Research Subprogram 010701 – ,,Evaluation of the structure and functioning of animal world and aquatic ecosystems under the influence of biotic and abiotic factors in the context of ensuring ecological security and the well-being of the population" and the project "Assessment of the status of plant, fungal and animal species, development of the list of species with rarity status and the algorithm for their presentation in the 4th edition of the Red Book of the Republic of Moldova" funded by the I.P. "National Office for Implementation of Projects in the Field of Environment" within the Ministry of Environment of the Republic of Moldova.*

ASOCIAȚII POLIPARAZITARE LA RAȚE (*ANAS PLATYRHYNCHOS DOMESTICUS* L. 1758) DIN ZONA DE CENTRU A REPUBLICII MOLDOVA

POLYPARASITIC ASSOCIATIONS IN DUCKS (*ANAS PLATYRHYNCHOS DOMESTICUS* L. 1758) FROM THE CENTRAL AREA OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 591.69:636.597(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.49**

Maria ZAMORNEA
ORCID: 0000-0001-8987-3390
E-mail: mariazamornea@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Dumitru ERHAN
ORCID: 0000-0001-9722-4382
E-mail: dumitruerhan@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ștefan RUSU
ORCID: 0000-0002-3322-9173
E-mail: rusus1974@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Oleg CHIHAI
ORCID: 0000-0002-5881-072
E-mail: olegchihai@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Olesea GLIGA
ORCID: 0000-0002-4917-5156
E-mail: oleseagliga@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*Parasitological research was carried out to determine the diversity of parasitic agents in ducks (Anas platyrhynchos domesticus L, 1758) aged 1-2 years, during the years 2024-2025. Have been collected 106 biological samples from various private households in the Central region of the Republic of Moldova. The ectoparasites were collected from live birds, according to a new, more informative procedure (Patent MD No. 3441, G2, 2007) and the special method of examination and collection of ectoparasites, according to Dubinina M. H. (1955). The collected material was subsequently examined using a magnifying glass MBC-9 (ob.14x2) and a microscope Novex Holland B ob. 20-40 WF 10x Din/20mm in the Laboratory of Parasitology and Helminthology of the Institute of Zoology, Moldiva State University. In domestic ducks (Anas platyrhynchos domesticus, L, 1758) infestation with 6 species of malophagous mites was established: Trinoton querquedulae (Linnaeus, 1758), Anatoecus icterodes (Nitzsch, 1818), Anatoecus dentatus (Scopoli, 1773), Anaticola crassicornis (Scopoli, 1763), Anaticola anserinum (Linnaeus, 1758), Menopon obscurum (Piaget, 1880) and with a species of gamazid mites (Dermanyssus gallinae (De Geer, 1778)). The highest level of infestation with malophagous mites was recorded with the species: Anaticola crassicornis (EI - 16.0%), Anatoecus dentatus (EI - 12.0%), followed by a species of gamazid mites (Dermanyssus gallinae - EI -11.0%). The lowest level of infestation was with the species Anatoecus icterodes and Trinoton querquedulae (EI- 1.0%). It was established that 26.4% of the specimens studied were infested in the form of monoinvasions, and 73.6% - in the form of polyinvasions. Polyparasitic associations consisting of 2 species of parasites in 44.5% of cases, 3 species – 24.3% of cases and 4 species – in 4.8% of cases were established*

Keywords: *ducks, ectoparasites, endoparasites, polyinfested.*

INTRODUCERE

Avicultura prezintă importanţă prin faptul, că permite creşterea multor specii de păsări domestice (găini, raţe, gâşte, curci, bibilici, prepeliţe) şi semidomestice (fazani, potârnichi, struţi), ce oferă crescătorilor de păsări posibilitatea să aleagă specia cea mai potrivită, în raport de condiţiile oferite şi cererea pieţii de consum [1].

Pe plan mondial, carnea de pasăre a câştigat o poziţie importantă între alimentele de origine animală, datorită calităţilor nutritive şi a costurilor reduse de obţinere şi procesare, comparativ cu alte surse de proteine de origine animală [2].

Prezenţa bolilor parazitare este neglijată de cele mai multe ori, cu toate că infestaţiile pot fi fatale la pui şi la păsările slăbite. Prevalenţa şi intensivitatea infestaţiilor pot fi influenţate de numeroşi factori, precum distribuţia gazdelor intermediare, rata lor de infestaţie, numărul de ouă şi larve infestante. Unii autori remarcă că, dintre păsări, galinaceele, în general, sunt mai receptive la infestare cu malofagi, decât palmipedele [3].

Datele numeroase, privind infestarea păsărilor domestice, demonstrează că ele sunt, de obicei, parazitate concomitent de diferite specii de paraziți. Ecto- și endoparaziţii păsărilor sunt răspândiți în toate unitățile avicole, indiferent de tehnologia de întreţinere: intensiv, semi intensiv sau tradițional [4].

Unii autori menționează, că ectoparaziții colectați de la palmipedele domestice sau captive pot furniza informații importante, referitor la apariția, prevalența și interacțiunile gazdă-ectoparazit de la populațiile sălbatice [5, 6]

S-a stabilit, că infestațiile cu specia de acarieni gamazizi *Dermanyssus gallinae*, care este un hematofag, noaptea când păsările se odihnesc, afectează găinile, curcanii, palmipedele și păsările sălbatice. Ca rezultat, aceste infestații duc la stres, canibalism, reducerea producției și a calității ouălor și, uneori, mortalitatea din cauza anemiei. Au fost estimate pierderi economice de peste 230 milioane de euro pe an în Europa, din cauza impactului asupra bunăstării și sănătății animalelor [7].

Totodată, specia *Dermanyssus gallinae* poate fi purtătoare de o serie de agenți patogeni zoonotici atât virali (de exemplu, virusuri gripale de tip A), cât și bacterieni (de exemplu, *Salmonella enteritidis*, *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Chlamydia psittaci*, *Escherichia coli*, *Pasteurella multocida*, *Coxiella burnetii* și *Listeria monocytogenes*) [8].

Conform datelor din literatura de specialitate, păsările sunt infestate concomitent cu numeroase specii de zooparaziți. Practic, la vârstă de peste câteva săptămâni, sunt permanent poliparazitate. Bolile parazitare, prin particularitățile nișei ecologice a agenților cauzali, prin particularitățile evolutive a entităților determinate, îndeosebi prevalența ridicată, pierderile economice însemnate produse și caracterul zoonotic al multora dintre ele, impun „o luptă antiparazitară” continuă. Această luptă se realizează prin controlul parazitologic și prin eradicarea parazitozelor [9].

De aceea, este important de stabilit comunitățile parazitare ale păsărilor domestice și sălbatice, care se păstrează, se mențin și se răspândesc de către ele, ceea ce este una din problemele actuale ale parazitologiei și ecologiei contemporane.

Cercetările parazitologice efectuate contribuie la ameliorarea producției de carne și ouă, diminuarea morbidității, mortalității și costurilor tratamentelor, prin dezvoltarea și aplicarea a unei strategii de control parazitologic integrat.

MATERIAL ȘI METODĂ

Investigațiile, cu privire la stabilirea diversității agenților parazitari la rațe (*Anas platyrhynchos domesticus* L. 1758) în vârsta 1-2 ani, au fost efectuate în perioada anilor 2024-2025. S-au recoltat 106 de eșantioane biologice din diverse gospodării particulare din zona de Centru a Republicii Moldova. Recoltarea probelor s-a efectuat individual și în grup. Ectoparaziții au fost colectați de pe păsări vii, conform unui procedeu nou, care este mai informativ [10] și metodei speciale de examinare și colectare a ectoparaziților de la păsări după Dubinina M. [11]. Materialul colectat a fost examinat ulterior cu ajutorul lupei МБС-9 (ob.14x2) și la microscopul Novex Holland B ob. 20-40 WF 10x Din/20mm în laboratorul de Parazitologie și Helmintologie al Institutului de Zoologie, USM. S-a stabilit extensivitatea (EI, %) și intensivitatea (II, exemplare) infestării.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În rezultatul cercetărilor parazitologice efectuate din cele 106 de eșantioane biologice recoltate de la rațe domestice (*Anas platyrhynchos domesticus* L. 1758) au fost stabilite infestarea lor cu 6 specii de malofagi: *Trinoton querquedulae* (Linn-

aeus, 1758), EI-1,0%, II-1-2 ex., *Anatoecus icterodes* (Nitzsch, 1818), EI-1,0%, II 2-4 ex., *Anatoecus dentatus* (Scopoli,1773), EI-12%, II-19ex., *Anaticola crassicornis* (Scopoli, 1763), EI 16,0%, II-12-429 ex., *Anaticola anserinum* (Linnaeus, 1758*),* EI-6,0%, II-2,0 ex*., Menopon obscurum* (Piaget, 1880), EI-3,0%, II-2-7 ex. și o specie de acarieni gamazizi *(Dermanyssus gallinae (*De Geer, 1778), EI-11,0%, II-17,0 ex.) (tabelul 1).

Tabelul 1. Prevalența infestării cu ectoparaziți la rațe din zona de Centru a Republica Moldova

Nr. d/o	**Specii de ectoparaziți**	**EI, %**	**II, ex.**
	MALOFAGI		
1.	*Anatoecus icterodes* (Nitzsch, 1818),	1,0	2-4
2.	*Anatoecus dentatus* (Scopoli,1763),	12,0	19,0
3.	*Anaticola crassicornis* (Scopoli, 1763),	16,0	12-429
4.	*Anaticola anserinum* (Fabricius, 1805*)*	6,0	2,0
5.	*Trinoton querquedulae* (Linnaeus, 1758)	1,0	1-2
6.	*Menopon obscurum* (Piaget, 1880)	3,0	2-7
	ACARIENI GAMAZIZI		
1.	*Dermanyssus gallinae (*De Geer, 1778).	11,0	17,0

Din speciile stabilite la rațe, cel mai înalt nivel de infestare cu malofagi a fost înregistrat cu speciiile: *Anaticola crassicornis* (16,0%), *Anatoecus dentatus* (12,0%), urmat de o specie de acarieni gamazizi (*Dermanyssus gallinae,* 11,0 %). Cel mai scăzut nivel de infestare a fost cu speciile de malofagi *Anatoecus icterodes* și *Trinoton querquedulae* (1,0%).

La rațe (*Anas platyrhynchos* L) s-a evidențiat că 26,4% din specimenele cercetate erau infestate în formă de monoinvazii, iar în 73,6% – în formă de poliinvazii. S-au stabilit asociații poliparazitare formate din 2 specii de paraziți în 44,5% din cazuri, din 3 specii – 24,3% din cazuri și din 4 specii – în 4,8% din cazuri.

Totodată, la rațe au fost înregistrate asociații poliparazitare formate din malofagi și acarireni gamazizi (Tabelul 2).

Din 106 de probe prelevate de la rațe (*Anas platyrhynchos domesticus*), s-a stabilit infestarea numai cu o specie de malofagi: *(Trinoton querquedulae, Anatoecus dentatus, Anaticola crassicornis, Anatoecus icterodes)* în 28 din cazuri.

Mixtinvazii formate din 2 specii (*Anaticola crassicornis + Trinoton querquedulae; Anatoecus dentatus + Menopon obscurum; Anatoecus icterodes + Anaticola anserinum; Dermanyssus gallinae + Anatoecus dentatus; Trinoton querquedulae + Anatoecus dentatus)* s-au înregistrat în 47 din cazuri.

Tabelul 2. Mixtinvazii ectoparazitare la rațe (*Anas platyrhynchos* L.) din zona de Centru a Republicii Moldova

Forme de infestare	EI,%	Specii de paraziți	Nr. de cazuri (n)
Infestare cu o specie	**26,4**	*Trinoton querquedulae*	**5**
		Anatoecus dentatus	**12**
		Anaticola crassicornis	**8**
		Anatoecus icterodes	**3**
Infestare cu 2 specii	**44,5**	*Anaticola crassicornis + Trinoton querquedulae*	**7**
		Anatoecus dentatus + Menopon obscurum	**9**
		Anatoecus icterodes + Anaticola anserinum	**11**
		Dermanyssus gallinae + Anatoecus dentatus	**5**
		Trinoton querquedulae + Anatoecus dentatus	**15**
Infestare cu 3 specii	**24,3**	*Anaticola crassicornis + D. gallinae + A. icterodes*	**11**
		Menopon obscurum + Anatoecus dentatus + A. crassicornis	**5**
		Anatoecus dentatus + Anaticola anserinum + T. querquedulae	**6**
		Dermanyssus gallinae + A. dentatus + Menopon obscurum	**4**
Infestare cu 4 specii	**4,8**	*Trinoton querquedulae + Dermanyssus gallinae + Menopon obscurum + Anatoecus dentatus*	**2**
		Trinoton querquedulae + Dermanyssus gallinae + Anaticola crassicornis + Anatoecus dentatus	**3**

Din 3 specii de agenți parazitari (*Anaticola crassicornis + Dermanyssus gallinae + Anatoecus icterode; Menopon obscurum + Anatoecus dentatus + Anaticola crassicornis; Anatoecus dentatus + Anaticola anserinum + Trinoton querquedulae; Dermanyssus gallinae + Anatoecus dentatus + Menopon obscurum)* s-au înregistrat asociaţii în 26 din cazuri, iar din 4 specii *(Trinoton querquedulae + Dermanyssus gallinae + Menopon obscurum + Anatoecus dentatus; Trinoton querquedulae + Dermanyssus gallinae + Anaticola crassicornis + Anatoecus dentatus)* - în 5 din cazuri.

Așadar, în rezultatul cercetărilor efectuate s-a stabilit un nivel sporit de infestare a palmipedelor domestice (rațe) cu diverşi agenţi parazitari din gospodării particulare, din zona de Centru a Republicii Moldova, ceea ce demonstrează că ele participă la menţinerea lanţului epizootic al acestor maladii şi au un rol important la infestarea păsărilor sălbatice migratoare. Unele specii de malofagi ca: *Trinoton querquedulae* (Linnaeus, 1758), *Anatoecus dentatus* (Scopoli,1773), *Anaticola crassicornis* (Scopoli, 1763), *Ana-*

toecus icterodes (Nitzsch, 1818) sunt comune şi pentru palmipedele sălbatice (rață-mare, rața-cârâitoare, rață-mică, rață-sulițar, rață-moțată, rață-cu-cap-castaniu, rață-lingurar, rață-pestriță, rața-mandarin).

Pentru specia *Dermanyssus gallinae* ca gazde servesc mai multe specii de păsări (rață, gâscă, găini, curci, picheri, fazani, prepelițe, porumbei) și mamifere sălbatice, inclusiv omul. Totodată, specia *Dermanyssus gallinae* poate fi purtătoare de o serie de agenți patogeni zoonotici atât (virali, de exemplu, virusuri gripale de tip A), cât și bacterieni (de exemplu, *Salmonella enteritidis, ,Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Chlamydia psittaci*, *Escherichia coli*, *Pasteurella multocida*)

Întrucât combaterea agenților parazitari este greu de realizat şi foarte costisitoare, măsurile de profilaxie sunt mai eficiente şi mai economice. Totodată, măsurile de biocontrol pot minimaliza răspândirea acestor agenți parazitari.

CONCLUZII

1. La rațe domestice (*Anas platyrhynchos domesticus*, L, 1758) în vârstă de 1-2 ani au fost stabilite infestarea cu 6 specii de malofagi: *Trinoton querquedulae* (Linnaeus, 1758), EI-1,0%, II-1-2 ex., *Anatoecus icterodes* (Nitzsch, 1818), EI-1,0%, II 2-4 ex., *Anatoecus dentatus* (Scopoli,1773), EI-12%, II-19ex., *Anaticola crassicornis* (Scopoli, 1763), EI 16,0%, II-12-429 ex., *Anaticola anserinum* (Linnaeus, 1758*),* EI-6,0%, II-2,0 ex.*, Menopon obscurum* (Piaget, 1880), EI-3,0%, II-2-7 ex. și o specie de acarieni gamazizi *(Dermanyssus gallinae (*De Geer, 1778), EI-11,0%, II-17,0 ex.)

2. Cel mai înalt nivel de infestare cu malofagi a fost înregistrat cu speciiile: *Anaticola crassicornis* (16,0%), *Anatoecus dentatus* (12,0%) urmat de 1 specie de acarieni gamazizi *Dermanyssus gallinae,* care a constituit 11,0 %. Cel mai scăzut nivel de infestare a fost cu speciile de malofagi *Anatoecus icterodes* și *Trinoton querquedulae* (1,0%)

3. La rațe (*Anas platyrhynchos* L) s-a evidențiat că 26,4% din specimenele cercetate erau infestate în formă de monoinvazii, iar în 73,6% – în formă de poliinvazii. S-au stabilit asociații poliparazitare formate din 2 specii de paraziți în 44,5% din cazuri, din 3 specii – 24,3% din cazuri şi din 4 specii – în 4,8% din cazuri.

REFERINȚE:

1. USTUROI, M. G. Study of certain factors influencing meat production in Ross-308 chicken hybrid*. Scientific Papers-Animal Science Series*. Iasi. 2015, vol. 64. - P.114-116.
2. FLETCHER, D. L. Poultry meat quality*. World Poultry Science Journal*. 2002. № 58 (2). - P. 131-145. DOI:10.1079/WPS20020013
3. ŞUTEU, I., COZMA, V. Parazitologie clinică veterinară. Edit Risoprint, Cluj-Napoca, 2007. Vol. 2. - 349 p. ISBN 973-656-632-3.

4. ZAMORNEA, Maria. Diversitatea parazitozelor la păsările domestice şi modificările morfofiziologice la *Gallus gallus domesticus* după tratamentul antiparazitar. Teză de doctor în biologie. Chișinău. 2009. - 126 p.
5. CLAY T, HOPKINS GHE. Notes on the Rudow collection of Mallophaga at Hamburg. *Mitt Hamburg Zool Mus Inst.* 1955, 53. – P. 49–73. [Google Scholar]
6. CASTRESANA, L., TOTARIO, A., MATEO, P. M. Study of the ectoparasitic mallophaga of Anatidae (Insecta, Mallophaga) in the Iberian Peninsula: identification, biometric characteristics and biological aspects. Zool Baetica. 1999. 10. – P. 63–86. *[Google Scholar]*
7. SLEECKX N., VAN GORP S., KOOPMAN R., KEMPEN I., VAN HOYE K., DE BAERE K., ZOONS J., DE HERDT P. Production losses in laying hens during infestation with the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*. Avian Pathol. 2019, 48. – S. 17-21.
8. SCHIAVONE, A., PUGLIESE, N., OTRANTO, D., SAMARELLI, R., CIRCELLA, E., DE VIRGILIO, C., CAMARDA, A. Dermanyssus gallinae: The long journey of the poultry red mite to become a vector. Parasites Vectors. 2022;1 5:29. doi: 10.1186/s13071-021-05142
9. MITREA, I. Controlul parazitologic - concept biologic, medical şi economic. *Scientia Parasitologica.* Cluj-Napoca, 2002, vol. 1. - P.79-89.
10. INSTITUTUL DE ZOOLOGIE AL ACADEMIEI DE ȘTIINŢE A MOLDOVEI. Procedeu de colectare a ectoparaziţilor de la păsări: brevet de invenție. Brevet MD nr. 3441, .G2 Inventatori: LUNCAŞU, M., ZAMORNEA, M. Publ. 2007.12.31, BOPI nr. 12/2007.
11. ДУБИНИНА, М. Н. Паразитологическое исследование птиц. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. – 132 с.

N.B. *Notă: Investigaţiile au fost realizate cu suportul proiectului instituțional - Program de Stat cu tema: „Diversitatea artropodelor hematofage, a zoo- şi fitohelminţilor, vulnerabilitatea şi strategiile de tolerare a factorilor climatici, elaborarea şi implementarea procedeelor inovative de control integral al speciilor de interes comunitar”, cu cifrul:20.80009.7007.12 F și a Subprogramului cu cifrul 010701 „Evaluarea structurii și funcționării biocenozelor, habitatelor acvatice și terestre sub influența factorilor biotici și abiotici în contextul asigurării securității ecologice și bunăstării populației” din cadrul USM.*

ACUMULAREA MICROELEMENTELOR(METALE ȘI METALOIZI) ÎN SOMNUL EUROPIAN (*SILURUS GLANIS*, LINNAEUS, 1758) DIN RÂUL PRUT

ACCUMULATION OF MICROELEMENTS (METALS AND METALLOIDS) IN EUROPEAN CATFISH (SILURUS GLANIS, LINNAEUS, 1758) FROM THE PRUT RIVER

CZU: 597.551.4(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.50**

Natalia ZUBCOV
ORCID: 0000-0001-6048-9395
E-mail: natalia.zubcov@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena ZUBCOV
ORCID: 0000-0002-8437-8195
E-mail: ecotox@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Dumitru BULAT
ORCID: 0000-0003-1134-7176
E-mail: bulatdm@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Denis BULAT
ORCID: 0000-0003-0591-3960
E-mail: bulat.denis@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor CIORNEA
ORCID: 0000-0009-6704-8728
E-mail: ciornea.victor@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The objective of the present study was to investigatethe levels of trace metals and metaloise (Fe,Zn,Al,,Sr,Ge, Be, Mn, Ba, Ga, Cu, Bi, As, Se, Ni, Te, Ti, Sb, Sn, Cr, Pb, Ag, V, Cd) in muscle ,skil,, liver, and gonade of freshwater fish, Linnaeus, 1758, from River Prut. The concentrations were different between the tissues of fish. Results showed that the microelements concentrations in difetent tissues of were prezented in descending order. Results also showed that the concentrations in the muscle and gonades of Silurus glanis are below levels of concern for human consumption.*

Keywords*: Prut River, microelements, metals, metalloids, bioacumulation Silurus glanis.*

INTRODUCERE

Stabilirea proceselor și nivelului de acumulare a microelementelor (metalelor și metaloizilor) în corpul peștilor este important atât pentru obținerea cunoștințelor noi în descifrarea proceselor de bioacumulare și biomagnificării a substanțelor chimice, descifrarea rolului microelementelor în funcționalitatea ecosistemelor acvatice cât și pentru evaluarea calității produselor piscicole ca sursă nutritivă de importantă a omului[12]. În anii precedenți au fost realizate mai multe investigații în bazinul hidrografic a râului Prut, dar aspectul de acumulare ale 13 microelemente-metale au fost în majoritatea sa axate pe speciile de pești din familiile Ciprinide și Percide.

Somnul european (Silurus glanis, Linnaeus, 1758) este un răpitor obligator, de talie mare, aparținând familiei *Siluridae*, cu o răspândire euro-asiatică extinsă. În râul Prut, preferă habitatele acvatice cu curgere relativ lentă, gropi adânci, meandre, etc. După caractere morfo-anatomice, somnul are capul turtit dorso-ventral, corpul lipsit de solzi, moderat comprimat lateral și prezintă un număr de 71–75 vertebre și 14 spini branhiali. Ambele fălci sunt prevăzute cu o bandă lată de dinți mărunți. Coloritul este variabil și depinde de transparența apei și substratul fundului (Figura 1).



Figura 1. Somnul european (*Silurus glanis*, Linnaeus, 1758).

Această specie poate atinge dimensiuni impresionante, de până la 500 cm lungime și 300 kg greutate, deși în mod obișnuit exemplarele adulte măsoară între 50–100 cm și 1,5–7 kg. Reproducerea are loc în a doua decadă a lunii aprilie-mai, la o temperatură a apei de aprox. 20°C, când adulții migrează spre zona luncilor inundabile și se reproduc în perechi. Maturitatea sexuală este atinsă la 4–5 ani. Femela poate depune până la un milion de icre, păzite ulterior de mascul. Somnul fiind un prădător, se hrănește cu pești bentonici, crustacee, dar și cu vertebrate de talie mică, cadavre sau chiar păsări acvatice. Din punct de vedere ecologic, somnul este un ameliorator biologic, contribuind la menținerea echilibrului în ecosistemele acvatice. În r.Prut, are valoare economică în pescuitul comercial (de partea României), fiind capturat prin vintire, setci sau năvod.

În prezent este tot mai alarmantă starea actuală a populațiilor de somn din fl. Nistru și r. Prut. Dacă în bălțile Prutului inferior câteva decenii în urmă captura somnului în pescuitul comercial constituia 5-10 %, iar în albie – și mai mult, atunci în prezent aceste valori sunt valabile doar pentru exemplarele sub dimensiunile admisibile legale pentru pescuit (60 cm). Carnea sa este apreciată pentru calitățile gustative, fiind lipsită de oase mărunte și bogată în grăsimi, mai ales la exemplarele mari. În ceea ce privește conservarea, nu beneficiază de măsuri speciale de protecție în Republica Moldova.

Astfel, cercetarea acumulării de oligoelementelor în somnul european prezintă o actualitate de studiu în ihtiologie și ecologie, având importanță atât teoretică, cât și practică. Fiind unul dintre cei mai importanți pași în monitorizarea stării ecologice a ecosistemelor de apă dulce, fiind investigații cruciale și reprezintă o bază teoretică bună pentru descifrarea proceselor de funcționare ecosistemelor acvatice și monitorizare dezvoltării și calității produsului piscicol [12]necesare pentru gestionarea și valorificarea rațională a resurselor acvatice și piscicole[8] .

MATERIALE ȘI METODE

Materialul pentru investigațiile realizate a fost colectat din râului Prut, sectorul inferior primăvara anului 2025 în perioada premergătoare depunerii icrelor al acestei specie, când în organismul peștilor se petrec procesele de redistribuirea a microelementelor biologic importante pentru procesul de înmulțire și dezvoltare a peștelui în perioada de ontogeneză timpurie din mușchii corpului și ficat în gonade, iar elementelor toxice -invers din gonade în ficat și mușchii corpului [10,15]. Pentru cercetarea nivelului de acumulare a microelementelor-metale și a unor metaloizi au fost prelevate mostre de mușchi corporale, piele, ficat și gonade a *Silurus glanis*, cu masa corpului de la 530 de grame cu lungimea 41 cm (pești nematurizați) și până la 1280-4770 grame cu lungimea peștilor de 60-90 cm (pești maturizați).

Concentrația microelementelor-metale și a metaloizilor în apă, suspensii și în unele hidrobionți, sau colectat trimestrial pe cursul râului de la barajul acumulării Costești-Stânca, Branište, Sculeni, Leușeni, Cahul, Câșlița-Prut, Giurgiulești. Materialul biologic a fost analizat prin metoda standardizată SM SR EN ISO 17294-2:2012 [2-5,9,11]. Pentru analiza multelementară, sa utilizat spectrometrul de emisie atomică cu plasmă cuplată inductiv ICP-

OES, *Thermo Scientific iCAP 6200 Duo* (*Thermo Fisher Scientific*), dotat cu softul „*iTEVA Software*". Atomizarea aerosolilor a fost asigurată de torța cu plasmă cuplată inductiv într-un flux continuu de argon, cu presiunea 5 bar. În calitate de standard intern au fost utilizate liniile spectrale 188,060; 227,318; 361,384 și 391,181 nm ale scandiului – Sc, în calitate de standard intern care permit determinarea microelementelor investigate[2-5,9,11]. .

Din peștii proaspeți aduși în laborator sau colectat probe de mușchi a corpului, piele, ficat, și gonade în cantități de la 0,2000. până la 0,7000 g cântărite cu utilizarea balantei analitică CE124 C 0.00000 și supuse digestiei.

Materialul biologic plasate în tuburi de teflon a fost supus digestiei cu amestec de acizi clorhidric și azotic în digestor cu microunde *Speed Wave four SW-4 (Berghof)* la temperaturi și presiuni ridicate de până la 100 bar în corespundere cu metodele standardizate ISO 15587-1, ISO 15587-2, EPA 200.2,3050 și 3051A și programului corespunzător a materialului supus procesului de digestie[2-5]. .

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Zeci ani în urmă au fost determinat conținutul unor metale în corpul unui exemplar de **Somnul european** *Silurus glanis*, (Linnaeus, 1758) din r.Prut și 2 exemplare- din fluviu Dunăre în cadrul realizării unor proiecte internaționale. Atunci concentrația cuprului, zincului, nichelului, plumbului, manganului a fost de 3-4 ori mai mare în mușchi, piele și ficat și de 2-3 ori în comparație cu date obținute în anul curent **,** dar atunci și conținutul acestor metale în apă și suspensii la fel au fost vizibil mai înalte de cele din ultimii ani [10,13-15].

Investigarea nivelului de bioacumulare în pești constituie una din verigile monitoringului biologic al metalelor și metaloizilor și evaluării proceselor și căilor de circulare în ecosistemele acvatice. Nivelul și dinamica de acumulare a microelementelor în pești are atât o importanță ecologică, cât și igienică. În condițiile schimbărilor climatice și creșterii factorului uman asupra funcționării ecosistemelor acvatice, problemele acumulării, în special, a metalelor grele și metaloizilor toxice prezintă o problemă vitală privind calitatea apei și a produsului piscicol [6,10,13-15]. Aceste rezultate sunt necesare și valoroase, deoarece microelementele, sunt cele mai puțin cercetare în mediul de viață dar care în cantități optime, sunt extrem de necesari pentru plante, animale și viața umană, însă în cazul deficitului sau concentrațiilor sporite provoacă diferite cauze de disbalanțe, a bolilor endemice și chiar a intoxicației. Majoritatea microelementelor îndeosebi metale se acumulează în lanțul trofic, fapt ce, în cele din urmă, poate afecta nemijlocit sănătatea omului care se alimentează cu produse piscicole poluate. Sunt bine cunoscute cazurile de intoxicare a oamenilor cu cadmiu, mercur în rezultatul consumării peștelui poluat. Unele microelemente (Bi, Se, As, Te, Ge ș.a.) au devenit parte-componente a medicamentelor, inclusiv al antibioticelor și substanțelor contraceptive greu degradabile care nimeresc în ecosistemele acvatice și care în cantități mici prezintă pericol pentru funcționalitatea ecosistemelor și sănătatea umană.

Peștii posedă un mecanism homeostatic destul de dezvoltat, ce reglează procesele de acumulare şi redistribuire a microelementelor între diferite organe în dependență de meta-

bolismul plastic şi generativ al peștilor și necesitățile lor pentru un microelement sau altul. În perioada premergătoare depunerii icrelor, predomină procesele intense de acumulare a microelementelor biologic importante în gonade, însoțite de micșorarea concentrațiilor lor în mușchii scheletici, iar în perioada de creștere - invers. Cu toate acestea, componența microelementară a organelor şi țesuturilor reprezintă o funcție a componenței mediului. Scopul acestei lucrări este analiza nivelului microelementelor în diferite organe a speciei *Silurus glanis* și calitatea produsului piscol acestei specie care pentru o bună parte de societate din acesta regiune este o specii deosebită pentru fluviul Dunărea și afluentul - r.Prut.

Metalele grele și unele metaloizi, conform hotărârii numeroaselor comisii internaționale pentru problemele protecției mediului înconjurător şi a ocrotirii sănătății, sunt raportate la substanțe poluante prioritare [10-13], deoarece nu se descompun dar se schimbă numai forma, sau componenta chimică de migrație acestora în mediul de trai. Este cunoscut faptul că aproape toate metalele și metaloizii joacă un rol foarte important în calitate de catalizatori, stimulatori sau inhibitori în procesele biochimice, care decurg în organismele vii şi constituie o parte indispensabilă a multor vitamine, fermenți, metaloproteine şi a altor compuși, fără de care procesele metabolice sunt imposibile [10], însă, odată cu intensificarea acțiunii antropogene asupra ecosistemelor acvatice, de cele mai multe ori ne întâlnim cu problema influenței toxice a metalelor asupra organismelor , inclusiv asupra creșterii și dezvoltării peștilor. De menționat faptul că în ultimii ani în forme solubile nu au fost depistate concentrații mari a microelementelor și numai în aval de confluența r.Jijia cu r. Prut, și în anul 2024 în perioada de inundații în suspensiile r.Prut au fost depistate concentrații sporite a microelementelor la nivel toxic pentru organismele acvatice.

Nivelul metalelor în specia investigată la fel nu prezintă pericol pentru sănătatea umană fiind minime în mușchii corpului și maxime in ficat (*As, Be, Bi, Cd, Co, Cu, Ga, Ge, Fe, Mn, Pb, Sr, Te, V, Zn*) și pilea (*Ag, Al, Ba, Cr, Ni, Sn, Ti*) al *Silurus glanis* (Figurile 1,2,3,4).

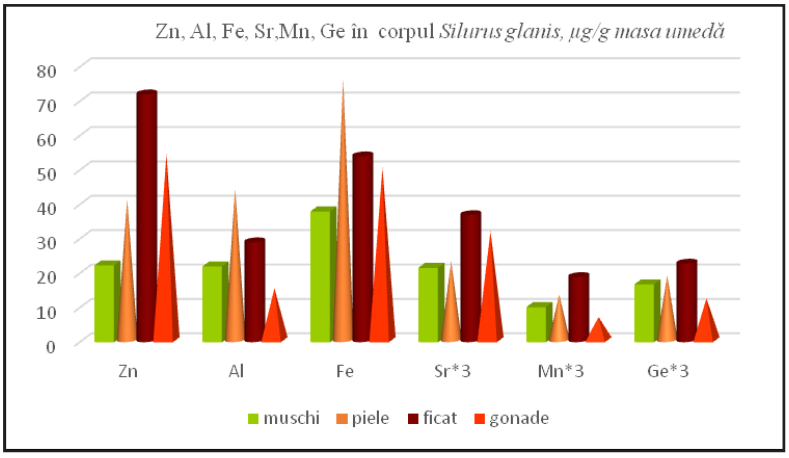


Figura 1. Concentrația *Zn, Al, Fe, Sr, Mn, Ge* (µg/g de masă umedă) în mușchi, piele, ficat și gonade a speciei *Silurus glanis*, din r.Prut, sectorul inferior , 2025.

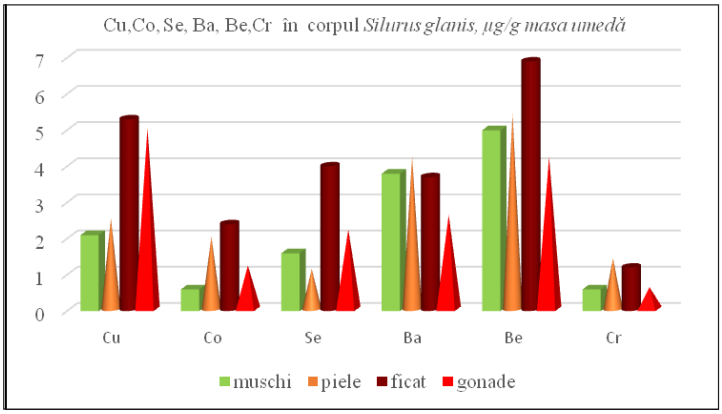


Figura 2. Concentrația *Cu, Co, Se, Ba, Be, Cr* (µg/g de masă umedă) în mușchi, piele, ficat și gonade a speciei *Silurus glanis*, din r.Prut, sectorul inferior, 2025.

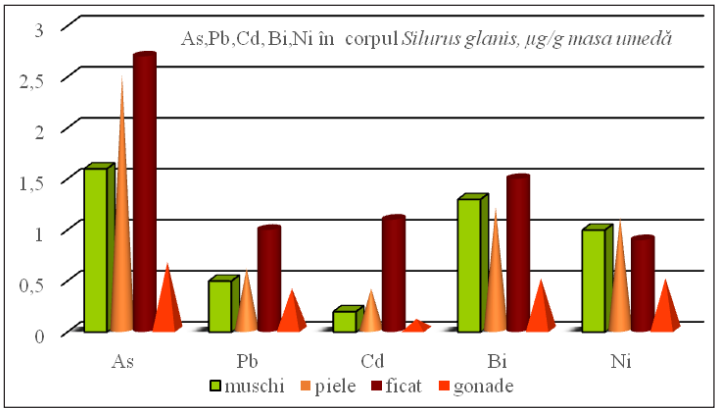


Figura 3. Concentrația *As, Pb, Cd, Bi, Ni* (µg/g de masă umedă) în mușchi, piele, ficat și gonade a speciei *Silurus glanis*, din r.Prut, sectorul inferior , 2025.

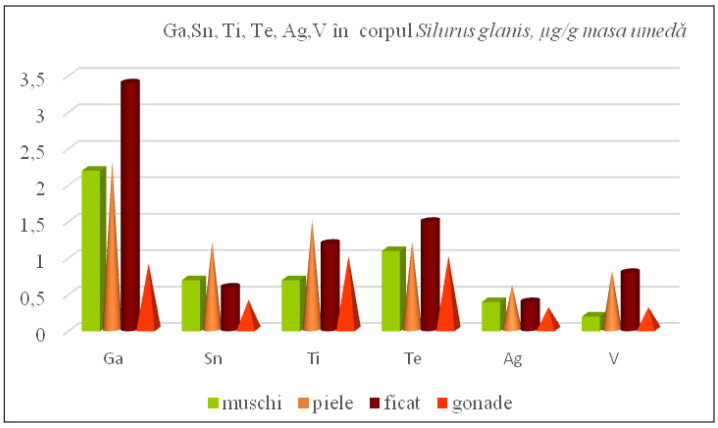


Figura 4. Concentrația *Ga, Sn, Ti, Te, Ag, V* (µg/g de masă umedă) în mușchi, piele, ficat și gonade a speciei *Silurus glanis*, din r.Prut, sectorul inferior, 2025.

Datorită contactului direct și permanent între hidrobionți inclusiv pești cu mediul acvatic, procesul de bioacumulare a metalelor prezintă un proces destul de complicat care se petreci atât prin adsorbție fizico-chimică din apă cât și prin utilizarea hranei vie împreună cu substanțe din suspensii și mâluri. Nivelul de bioacumulare a metalelor este independentă de metabolismul însuși a organismului care la rândul său este influențat și de condițiile mediului de trai. În așa caz valoarea coeficientului de bioacumulare metalelor în pești [1,7] nu întotdeauna poate fi un indicator corect atunci când este calculat ca raportul între concentrația metalelor în corpul peștilor la concentrația în apă. Multiple lucrări experimentale realizate [10,15] ne permit să constatăm a speciei că peștii numai la etapa de larve și alevini pot servi ca bioindicatori ai poluării apei cu metale.

Începând de la puiet – până la pește-marfă nivelul de bioacumulare depinde mai mult de componența hranei, având o dinamică sezonieră. La pești-reproducători factorul dominant ale procesele de bioacumulare devine raportul între procesele de înmulțire și celor de creștere a peștilor. Astfel, procesele de gametogeneză determină intensitatea de bioacumulare microelementelor din apă și nutriție și provoacă procesele de redistribuire microelementelor între diferite organe a peștilor [10-13,15]. Acestea ne permit să constatăm că valoarea coeficientului de bioacumulare în corpul peștilor este o valoare foarte variabilă și care nu poate servi în calitate de indicator a poluării ecosistemei acvatice sau mediului de trai a peștilor cu metale. Acest indicator poate fi utilizat pentru estimarea intensității a bioacumulării microelementelor în unele sau altor organe a peștilor în condiții experimentale.

Noi am calculat coeficientul de bioacumulare ca raport a concentrației metalelor în mușchii corpului (căror le revine o bună parte a biomasei peștilor la conținutul mediul total a microelementelor în apa r.Prut de la Branište până la Giurgiulești (microelemente dizolvate în apă + cele din suspensii). În calcul s-au luat peștii maturizați colectați în aceeași localitate în perioadă premergătoare de depunerea icrelor, când procesele de reproducere predomină asupra celor de creștere. Cifrele obținute nu indică nivelul de poluare apei și suspensiilor din r.Prut însă ne permite să demonstrăm plasarea sau rândul de descreștere ale microelementelor *Zn > Mn > Se > Co > Fe > Cu > Ge > Ba > Ag > Pb > Be > As > Sn > Ga > Cr > Bi > Ni > Cd > Te > V > Ti > Sr >Al* care ne demonstrează că pe primele poziții se află microelementele necesare de înmulțirea peștilor, iar cele toxice sau efectul cărora asupra ihtiofaunei este mai neutru - sunt pe următoarele poziții. Ca exemplu concentrația *Al, Zn, Sr* în apă și suspensii sunt cu mult mai mari de ale *Mn, Co, Se* dar numai *Zn* se află între cele primele, iar *Sr* și *Al* concentrațiile cărora depășesc concentrațiile *Zn* sunt ultime în acest rând.

CONCLUZII

Procesele de acumulare a microelementelor în organele și țesuturile peștilor maturați sexual au un caracter destul de complicat și divers, condiționat de complexul factorilor mediului și statutul fiziologic-biochimic al organismelor. Prin urmare, legătura dintre nivelul de acumulare a microelementelor în organele și țesuturile peștilor cercetați și

mediu nu este pusă la îndoială, cu toate că la pești este destul de dezvoltat mecanismul homeostazei, care reglează procesele de acumulare a elementelor chimice.

După pătrunderea microelementelor în organismul peștilor are loc repartizarea lor prin diferite organe - proces dependent de necesitatea biologică. În majoritatea cazurilor, concentrațiile maxime ale majorității microelemente-metale și metaloizi , inclusiv celor toxice sunt depistate în ficat, ale unor metale în piele, iar concentrațiile minime -în mușchii scheletici și în gonade, în perioadă premergătoare de depunerea icrelor concentrațiile microelementelor necesare pentru înmulțirea a peștilor brusc se mărește în gonade.

Nivelul microelementelor investigate în corpul speciilor *Silurus glanis*, Linnaeus, 1758 din r. Prut investigate nu poate provoca efecte toxice pentru dezvoltare speciilor date sau pericol pentru sănătatea omului.

REFERINȚE:

1. Ali, H.; Khan, E.; Ilahi, I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, Article ID: 6730305,2019 https://doi.org/10.1155/2019/6730305
2. Ciornea, et al. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-OES) for environmental analysis. In *Hight-performance analytical techniques for the monitoring of toxicants in environment. Methodological guide*. Editor: Ene, A. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, pp. 37–44.2021 https://blackseacbc.net/images/e-library/BSB27_MONITOX_-Methodological_ guide_on_high-performance_ analytical_ techniques_for_the_ monitoring of_toxic_chemicals_in_environment_EN_RO.pdf
3. EPA Method 200.2, Revision 2.8: Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements. https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ method 200-2_rev_2-8_1994.pdf
4. EPA Method 3050B, Revision 2: Acid digestion of sediments, sludges, and soils. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf
5. EPA Method 3051a. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf
6. Sapozhnikova, et al. Evaluation of pesticides and metals in fish of the Dniester River, Moldova. *Chemosphere*, Vol. 60, Issue 2, pp. 196–205. 2005. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.061
7. Spiegel, H. Trace element accumulation in selected bioindicators exposed to emissions along the industrial facilities of Danube Lowland. *Turkish Journal of Chemistry,* Vol. 26, No. 6, pp. 815–823.2002,: https://journals.tubitak.gov.tr/chem/vol26/iss6/2

8. The Prut river basin management plan. Cycle I, 2017–2022. Executive summary (2016) Chişinău: S. n., Tipogr. "Alina Scorohodova", 42 p. https://ieg.md/sites/default /files/2021-06/Sumar-Planul-Gestionare-Bazinul-Hidrografic-Prut-2017-2022-en.pdf
9. Zubcov, E.; Ciornea, V.; Ene, A. Micro- and macroelement analysis of environmental components. In *Guidance of the monitoring of water quality and assessment of the ecological status of aquatic ecosystems*. Eds: Bileţchi, L.; Zubcov, E. Chişinău: S. n., 2021 (Î. S. F.E.-P. „Tipografia Centrală"). Chisinau: I.S.F.I.Tipografia Centrală, pp. 8–16.2021https://zoology.md/sites/default/files/2021-05/Indrumar_monit_calit_apa _stare%20ecosis%20acvatice_2020.pdf
10. Zubcov, E.;et alRepartizarea, migrația și rolul microelementelor în apele de suprafață. In: *Microelementele în componentele biosferei și aplicarea lor în agricultură și medicină*. Monografie colectivă. Coordonator Toma, S. Chișinău: Ed. Pontos, p.78–107 .2016
11. Zubcov, E.et al. Ecotoxicological investigations of aquatic ecosystems (study of ecotoxicants). In *Ecotoxicological methodological guide for environmental monitoring: problematics, laboratory techniques and health risk investigation*. Eds. Zubcov, E.; Ene, A. Chişinău: I.S.F.I. Tipografia Centrală, pp. 38–53.2021 https://zoology.md/sites/default/files/2021-10/Ecotoxicological%20methodological% 20 guide%202021.pdf
12. Zubcov, E.et al. Various aspects of the assessment of migration and role of metals in determining the functioning of aquatic ecosystems Dniester and Prut rivers. *Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii.* Tom 39, No. 2, pp. 192–199.2023 http://olteniastudiisicomunicaristiintelenaturii.ro/v39_2.html
13. Zubcov, E.et al. Assessment of copper and zinc levels in fish from freshwater ecosystems of Moldova. *Environ Sci Pollut Res*. Vol. 19, No. 6, pp. 2238–2247. 2012,https://doi.org/10.1007/s11356-011-0728-5
14. Elena ZUBCOV et al. Dynamics and migration of microelements-metals in the water-solid suspension system of the Prut River DOI:https://doi.org/10.47743/pesd2024182008 Present Environment and Sustainable Development Volumul 18, i2, 2024 / ISSN 1843-5971 /ISSNe 2284-7820
15. ZUBCOV Natalia Legitățile de acumulare și rolul microelementelor în ontogeneza peștilor. Chisinau. 88p. (in Rusă) ЗУБКОВА Н.Н Закономерности накопления и роль микроэлементов в онтогенезе рыб,Chisinau, Stiinta, 2011, 88p., ISBN 978-9975-67-753-0

N.B. *Lucrarea este realizată în cadrul subprogramului 010701 "ZOOAQUATERRA" (2024-2027) Universității de Stat din Moldova, și proiectului „Evaluarea stării speciilor de plante, fungi și animale, elaborarea listei speciilor cu statut de raritate și algoritmului de prezentare a acestora în ediția a IV-a a Cărții Roșii a Republicii Moldova", implementate de USM, Institutul de Zoologie.*

ВЛИЯНИЕ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ С ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКОВ, ЖИРОВ И УГЛЕВОДОВ С И БЕЗ BioR НА МАССУ ТЕЛА КРЫС В ПЕРИОД ДИМИНУАЦИИ ФУНКЦИЙ

EFFECT OF DIETS WITH A PREFERENTIAL CONTENT OF PROTEINS, FATS AND CARBOHYDRATES WITH AND WITHOUT BioR ON BODY WEIGHT OF RATS DURING THE PERIOD OF FUNCTIONAL DIMINUTION

CZU: 599.323:591.133 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.51**

Ольга БУЛАТ
ORCID: 0000-0002-9667-6747
E-mail: bulatolga@mail.ru
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Валентина ЧОКИНЭ
ORCID: 0009-0003-0741-505X
E-mail: valentina.ciochina@gmail.com
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Лилия ПОЛЯКОВА
ORCID: 0000-0001-8212-096X
E-mail: bostan-lilia@mail.ru
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The effect of diets with different macronutrient content (proteins, fats and carbohydrates) with and without the BioR immunomodulator on rat body weight during the period of functional diminution was studied. The object of the study was white laboratory rats. The study involved 44 females aged 22–24 months, weighing 220–250 g. Four diets were used in the experiment: standard diet; diet with a predominant content of protein (70% protein, 10-20% carbohydrates and 7-10% lipids); diet with a predominant content of carbohydrates (10-15% protein, 60-70% carbohydrates and 7-10% lipids); diet with a predominant content of fats (10-15% protein, 10-20% carbohydrates, 60-70% lipids). The results of the body weight study showed a significant increase in the weight of animals kept on a standard diet, and an insignificant increase in the weight of rats kept on a diet with a predominant content of lipids. And the inclusion of the immunomodulator BioR along with various diets did not lead to significant changes in body weight.*

Keywords: *proteins, fats, body mass, nutrition, carbohydrates.*

ВВЕДЕНИЕ

Пища является основным источником энергии и «строительного материала» для всех живых организмов. Однако, состав рационов питания, по-разному влияют на организм. Тремблей А. и др. показывают, что состав макронутриентов рациона влияет также и на аппетит через гомеостатические механизмы, запуская или подавляя потребление энергии [1]. Аппетит, расход энергии, окисление липидов и масса тела зависят от степени ожирения организма, отрицательного энергетического баланса и/или потери веса [2].

Диета, характеризующаяся высоким содержанием белка и низким содержанием углеводов и жиров, приводит к потери веса, большей сытости и снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний [3], но при этом способствует росту хронических заболеваний, например, хроническую болезнь почек [4].

Питание рационами с высоким содержанием углеводов приводят к избыточной секреции инсулина, тем самым способствуя накоплению жира и увеличению потребления энергии [5].

Диета с высоким содержанием насыщенных жиров, является одним из основных факторов, влияющих на развитие ожирения и других неинфекционных заболеваний [6], но при этом в экспериментах, было показано что, у больных сахарным диабетом 2 типа, соблюдающих диету с высоким содержанием жиров, без ограничения калорий в течение 6 месяцев, наблюдались более выраженные клинически значимые улучшения гликемического индекса и веса [7].

Количество жира в организме увеличивается до 70 лет, а затем уменьшается, мышечная масса снижается после достижения 40 лет, так что вес в основном набирается в виде жировых отложений, а не мышечной массы. Это связанное с возрастом снижение мышечной массы частично объясняет снижение скорости метаболизма в состоянии покоя. Факторами вызывающие снижение скорости метаболизма в состоянии покоя являются: снижение физической активности, уменьшение объема митохондрий и их окислительной способности [8].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом данного исследования послужили белые лабораторные крысы. В исследовании использовались 44 самки в возрасте 22–24 месяцев, с массой тела 220–250 г. Животные содержались в стандартных условиях вивария, в соответствии с «Законом № 211 от 19.10.2017 г. «О защите животных, используемых для экспериментальных или иных научных целей», который транспонирует Директиву 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых в научных целях, опубликованную в Официальном журнале Европейского Союза L 276 от 20 октября 2010 г.» [9]. Научный эксперимент продолжался 30 дней.

Животные были разделены на две группы, которые в свою очередь были

разделены на четыре подгруппы, в зависимости от состава пищевого рациона. Животным I группы вводили физиологический раствор, а животным II группы – иммуномодулятор BioR. Введение препаратов осуществлялось ежедневно в течение 30 дней, в утренние часы с 9:00 до 10:00.

В начале и на протяжении всего эксперимента с интервалом в пять дней каждое животное взвешивали индивидуально на электронных весах.

В эксперименте использовали четыре рациона питания. Стандартный рацион состоял из стандартных продуктов по Западнюку И.П. [10]. Рацион с преимущественным содержанием белка состоял из 70% белка, 10-20% углеводов и 7-10% липидов. Рацион с преимущественным содержанием углеводов содержал 10-15% белка, углеводов 60-70% и липидов 7-10%, а рацион с преимущественным содержанием жиров состоял из: белка 10-15%, углеводов 10-20%, липидов 60-70%.

Результаты исследований статистически обработаны с использованием метода непрямых разностей, описанного Монцевичюте-Эрингене Э. В. [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучалось влияние различных рационов питания в ассоциации и без иммуномодулятора BioR на массу тела крыс в период диминуации функций и деградации органов и систем организма. Для этого было сформировано восемь подгрупп крыс, четыре – по пять крыс в каждой подгруппе, питавшихся различными рационами питания, и по шесть крыс в каждой подгруппе, питавшихся различными рационами питания в сочетании с BioR.

Таблица 1. Изменение массы тела (г) у старых крыс, содержавшихся на разных рационах питания без и в сочетании с BioR

День взвешивания	Стандартный рацион		Рацион с преимущественным содержанием белков		Рацион с преимущественным содержанием углеводов		Рацион с преимущественным содержанием жиров	
	Без BioR	С BioR	Без BioR	С BioR	Без BioR	С BioR	Без BioR	С BioR
1	242,2±9,4	226,7±13,8	249,8±18,9	236,7±10,8	242,4±12,6	237,0±11,0	248,0±16,8	238,3±11,0
5	269,4±7,3	242,7±14,4	258,2±22,7	247,2±15,2	274,6±12,8	243,0±16,8	271,0±20,0	260,8±12,6
10	272,2±5,4	234,3±15,1	251,0±21,3	240,5±16,3	257,0±13,0	236,5±16,9	278,6±25,0	272,8±13,5
15	273,6±9,1	234,3±17,3	251,0±22,3	237,3±14,6	247,0±19,9	239,5±15,4	279,6±26,5	280,5±13,9
20	275,2±8,6	237,8±10,7	252,6±23,3	233,2±18,6	248,8±19,4	234,3±16,8	284,6±28,0	273,0±13,1
25	275,8±9,2	229,2±18,1	253,6±24,5	213,0±26,7	250,5±17,7	239,2±16,3	289,4±25,4	284,2±16,0
30	292,2±9,3**	226,6±13,6	267,2±23,7	243,6±3,5	250,0±16,3$^{\Omega}$	240,0±15,7	282,0±24,3	285,0±18,5*$^{\Omega}$

Примечание: статистическая разница между начальной и конечной массой животных одной группы * – ($p<0,05$); ** – ($p<0,005$); статистическая разница между массой тела у животных из опытных групп с контрольной группой $^{\Omega}$ – ($p<0,05$).

Так, в результате эксперимента, масса тела крыс, содержавшихся на стандартном рационе питания, достоверно изменилось (p <0,005), то есть увеличилось на 20,6 % с 242 ± 9,4 г до 292,2 ± 9,3 г в течении 30 дней (таблица 1, рисунок 1).

Рацион с преимущественным содержанием белков изменяет массу тела незначительно, увеличивая на 7,0 % с 249,8 ± 18,9 г до 267,2 ± 23,7 г. Полученные результаты не являются статистически значимыми также и в сравнении с исходным весом в контрольной группой.

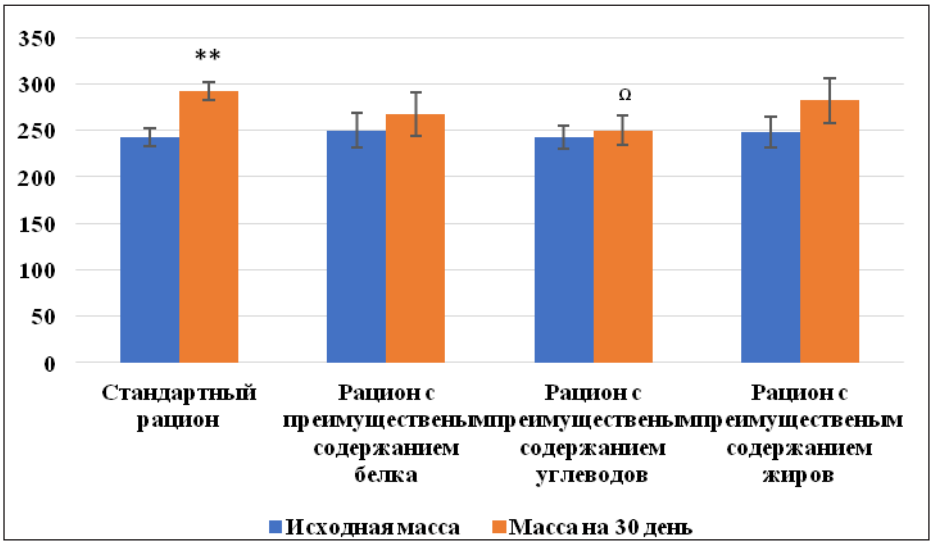


Рисунок 1. Особенности изменения массы тела (г) у старых крыс в зависимости от рациона питания

Примечание: статистическая разница между начальной и конечной массой животных одной группы ** – (p<0,005); статистическая разница между массой тела у животных из опытных групп с контрольной группой $^{\Omega}$ – (p<0,05).

Вес старых крыс увеличился при кормлении рационом с преимущественным содержанием углеводов, по сравнению с исходным весом на 3,1 %, с 242,4 ± 12,6 г до 250,0 ± 16,3 г (p>0,05). Однако он значительно снизился по сравнению с контрольной группой (стандартный рацион питания), с 292,2 ± 9,3 г до 250,0 ± 16,3 г (p <0,05), что можно объяснить снижением толерантности к глюкозе у организмов в периоде диминуации функций. Эти результаты подтверждают данные, полученные ранее DeFronzo R.A. [12].

Содержание животных на рационе с преимущественным составом липидов, приводит к увеличению массы тела на 13,7 %, с 248,0 ± 16,8 г до 282,0 ± 24,3 г.

Внутримышечное введение иммуномодулятора BioR совместно с стандартным рационом питания не вызывает существенных изменений массы тела у старых

крыс, однако на протяжении всего эксперимента вызывает колебательные изменения: в первые сутки масса увеличивается с 226,7 ± 13,8 г до 242,7 ± 14,4 г на 7,1 %, затем к 10-му дню снижается до 234,3 ± 15,1 г на 3,4%. На 15-е сутки масса остается неизменной, а на 20-е сутки увеличивается незначительно на 1,5%, достигая 237,8 ± 10,7 г, с последующим снижением на 25-е сутки до 229,2 ± 18,1 г на 3,6 % и незначительным снижением на 30-е сутки на 1,1 %, до 226,6 ± 13,6 г. Рационы, преимущественно богатые белками и углеводами, в сочетании с BioR несущественно увеличивают массу тела у старых крыс, соответственно: на 2,9 % и на 1,4 %, с 236,7 ± 10,8 г до 243,6 ± 3,5 г и с 237,0 ± 16,8 г до 240,0 ± 15,7 г (p>0,05), хотя в контрольной группе наблюдаются схожие изменения в увеличении массы тела (таблица 1, рисунок 2).

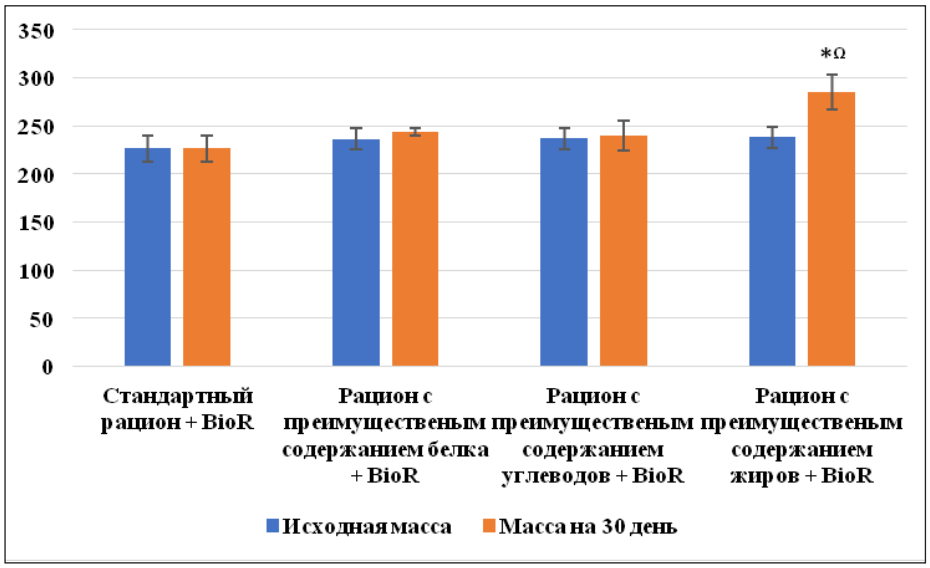


Рисунок 2. Характер изменения массы тела (г) у старых крыс в зависимости от рациона питания совместно с введением иммуномодулятора BioR

Примечание: статистическая разница между начальной и конечной массой животных одной группы * – (p<0,05); статистическая разница между массой тела у животных из опытных групп с контрольной группой $^{\Omega}$ – (p<0,05).

Масса тела у крыс, содержавшихся на рационе с преимущественным содержанием липидов, достоверно увеличивается на 19,6 % с 238,3 ± 11,0 г в начале эксперимента до 285,0 ± 18,5 г (p<0,05) и достоверно уменьшается по сравнению с контрольной группой с 292,2 ± 9,3 г до 285,0 ± 18,5 г (p<0,05). Таким образом, включение иммуномодулятора BioR в различные рационы питания у крыс старого возраста не приводит к существенным изменениям в массе тела.

ВЫВОДЫ

Влияние рационов питания на массу тела зависит от структуры рациона (соотношения белков жиров и углеводов), наличия или отсутствия иммуномодулятора BioR.

В период диминуации функций и деградации жизненно важных органов и систем необходимо включать в рацион сбалансированный по макронутриентам рацион для коррекции массы тела.

Nota bene: Subprogramul: 011001 – „Mecanisme de reglare a homeostaziei organismului și a sănătății și elaborarea procedeelor și măsurilor de menținere a ei”.

БИБЛИОГРАФИЯ:

1. TREMBLAY, A., BELLISLE, F. Nutrients, Satiety, and Control of Energy Intake. Appl. Physiol. In: *Nutr. Metab*. 2015. nr.40, p. 971–979. doi: 10.1139/apnm-2014-0549.
2. VELDHORST, MA., WESTERTERP, KR., VAN VUGHT, AJ., WESTERTERP-PLANTENGA, MS. Presence or absence of carbohydrates and the proportion of fat in a high-protein diet affect appetite suppression but not energy expenditure in normal-weight human subjects fed in energy balance. In: *Br J Nutr*. 2010. nr. 104(9), p. 1395-1405. doi: 10.1017/S0007114510002060.
3. GATELY, PJ., KING, NA., GREATWOOD, HC., et al. Does a high-protein diet improve weight loss in overweight and obese children? In: *Obesity (Silver Spring)*. 2007. nr. 15(6), p. 1527-1534. doi: 10.1038/oby.2007.181.
4. KRAMER, H. Diet and Chronic Kidney Disease. In: *Adv Nutr*. 2019. nr. 1, p. 367-379. doi: 10.1093/advances/nmz011.
5. HALL, KD., GUO, J., COURVILLE, AB., et al. Effect of a plant-based, low-fat diet versus an animal-based, ketogenic diet on ad libitum energy intake. In: *Nat Med.* 2021. nr.27 (2), p. 344-353. doi: 10.1038/s41591-020-01209-1.
6. KENĐEL JOVANOVIĆ, G., MRAKOVCIC-SUTIC, I., PAVIČIĆ ŽEŽELJ, S., et al. The Efficacy of an Energy-Restricted Anti-Inflammatory Diet for the Management of Obesity in Younger Adults. In: *Nutrients*. 2020. nr. 12, p.3583. doi: 10.3390/nu12113583.
7. HANSEN, CD., GRAM-KAMPMANN, EM., HANSEN, JK., et al. Effect of Calorie-Unrestricted Low-Carbohydrate, High-Fat Diet Versus High-Carbohydrate, Low-Fat Diet on Type 2 Diabetes and Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Randomized Controlled Trial. In: *Ann Intern Med*. 2023. nr. 176(1), p. 10-21. doi: 10.7326/M22-1787.
8. BATSIS JA, VILLAREAL DT. Sarcopenic obesity in older adults: aetiology, epidemiology and treatment strategies. In: *Nat Rev Endocrinol*. 2018. nr.14, p. 513-537. doi: 10.1038/s41574-018-0062-9.

9. *Directiva 2010/63/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 22 septembrie 2010 privind protecția animalelor utilizate în scopuri științifice* [online]. Disponibil: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0063. [citat 12.03.2022]
10. ЗАПАДНЮК, И.П. и др. *Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте*. Киев: Вища школа, 1983. 383 с.
11. МОНЦЕВИЧЮТЕ-ЭРИНГЕНЕ, Е.В. *Упрощенные математико-статистические методы в медицинской исследовательской работе.* В: Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 1964, № 4, с. 71-78.
12. DEFRONZO, RA. Glucose intolerance and aging. In: *Diabetes Care.* 1981, N 4(4), pp. 493-501.

КОРРЕКЦИЯ СЕКРЕТОРНО-МОТОРНЫХ НАРУШЕНИЙ У ПАЦИЕНТОВ С ДИСФУНКЦИЕЙ ЖЕЛУДКА МЕТОДОМ АКУПУНКТУРЫ

CORRECTION OF SECRETORY-MOTOR DISORDERS IN PATIENTS WITH GASTRIC DYSFUNCTION USING ACUPUNCTURE

CZU: 616.33-008.821.14:615.814.1 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.52**

Алексей ОРГАН
ORCID: 0009-0003-6782-9358
E-mail: organ-alexei@mail.ru
Медицинский центр «Petrumed», Кишинэу, Республика Молдова

Ион МЕРЕУЦЭ
ORCID: 0000-0002-9711-5351
E-mail: ion.mereuta@usmf.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Станислав САНДУЦА
ORCID: 0009-0003-6471-7967
E-mail: tradicio.med@mail.ru
S.R.L. POLIMED SWISS, Кишинэу, Республика Молдова

Борис УНТУ
ORCID: 0009-0009-2813-4303
E-mail: petrumed@mail.ru
Медицинский центр «Petrumed», Кишинэу, Республика Молдова

Пётр УНТУ
ORCID: 0009-0005-6282-2485
E-mail: untu.petru@gmail.com,
Медицинский центр «Petrumed», Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The aim of the study was to assess the possibilities of acupuncture in correcting gastric secretion and motility, depending on the time of exposure. Materials/tools and methods used within the framework of the study - prior to the hospitalization stage, a study was conducted on 21 patients with hyperacidity and pain syndrome in the stomach. Acidity was determined by pHmetry. Gastric motility was assessed by continuous radiogastrography using semolina porridge and bengal-rose iodine 131. Study results. In the initial state, all patients were found to have a hypersecretory type (pH of the stomach body is 1.5 - 2). Moto-evacuation function was*

accelerated in 7 patients and slowed down in 14. Points of general, segmental and local action were applied - 14 sessions. With accelerated evacuation, the exposure lasted for 40 minutes, and with slow evacuation - 20 minutes. After treatment, a blocking effect was obtained regardless of the time of exposure - pH was greater than 2.0. All patients with accelerated evacuation noted a slowdown in peristalsis, and patients with slow evacuation registered different results, both acceleration of peristalsis and even greater slowdown - approximately 50 to 50.

Keywords: *acupuncture, motility, patients, secretion, stomach.*

ВВЕДЕНИЕ

Цели исследования – изучить возможность акупунктуры при одновременной коррекции секреции и моторики желудка при гиперацидности в зависимости от времени воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование провели у 21 пациента с гиперацидностью желудка в исходном состоянии и болевым синдромом. У всех пациентов в исходном состоянии и после 14 сеансов провели развернутую pH-метрию желудка, исследование моторно-эвакуаторной функции желудка и фиброгастроскопию. Кислотность внутрижелудочного содержимого определяли с помощью двуоливных зондов и ацидогастрометра АГМ – 10-01. pH определяли в области тела желудка и в антральной области, что отражало функции кислотообразования и ощелачивания. Оценку моторно-эвакуаторной функции желудка проводили методом непрерывной радиогастрографией.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДИСКУССИЯ

В исходном состоянии у всех пациентов выявлен гиперсекреторный тип (pH корпуса базальное 1,5 - 2).

Моторно-эвакуаторная функция оказалась ускоренной у 7 больных (33,3%) и замедленной у 14 больных (66,7%).

Лечение провели у 14 больных с замедленной эвакуацией II вариантом тормозного метода корпоральной рефлексотерапии – 20 минут с использованием точек общего, сегментарного и местного воздействия, а также точек, имеющих парасимпатомиметическое влияние (GI 4; E 36).

Получили следующие результаты: pH тела базальное – 2,05 ± 0,22; pH антрум - тело – 3,68 ± 0,34.

У 7 больных с ускоренной эвакуацией лечение провели I вариантом тормозного воздействия - 40 минут с использованием точек общего, сегментарного и местного воздействия, а также точек, имеющих симпатомиметическое влияние (RP 4; GI 11).

Блокирующее влияние рефлексотерапии на процесс кислотообразования происходит как при 20 минутном, так и при 40 минутном воздействии (pH 2,05 ± 0,22 и 2,09 ± 0,33).

У 7 пациентов (33,3%) с ускоренной эвакуацией сопоставили данные радиографии, которые фиксировали через каждые 5 минут до и после лечения и провели статистические исследования. Получили достоверное замедление перистальтики с 15-ой минуты, которое имело место до конца исследования, т.е. до 30-ой минуты ($p<0,05$). Данные показаны на рис. 1.

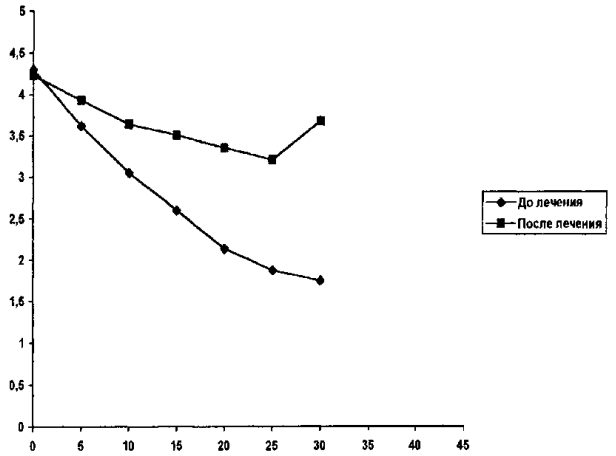


Рисунок 1. Моторика желудка до и после лечения у пациентов с ускоренной эвакуацией

У 14 больных (66,7%) с замедленной перистальтикой и гиперацидностью в исходном состоянии – получили следующие результаты.

У 7 пациентов моторно-эвакуаторная функция желудка изменилась в сторону нормализации, т.е. ускорялась, причем достоверный результат наблюдался с 15-ой минуты и также охранялся до конца исследования. Данные этой подгруппы приведены на рис. 2.

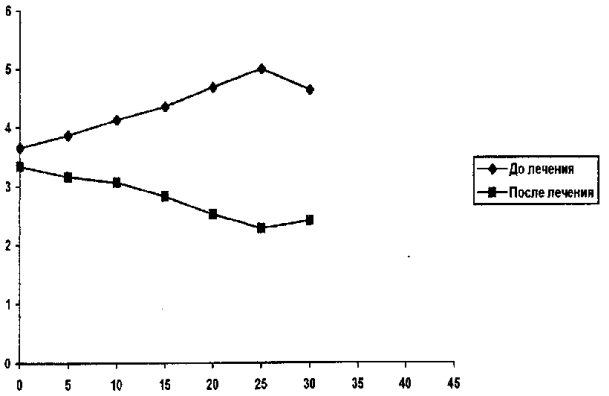


Рисунок 2. Моторика желудка до и после лечения методом акупунктуры у больных с дисфункцией желудка с замедленной эвакуацией, положительная динамика

У других 7 пациентов моторно-эвакуаторная функция изменялась в сторону еще большего замедления, причем достоверный эффект наблюдался с 1-ой минуты исследования и сохранялся в течение всего времени исследования. Данные приведены на рис. 3.

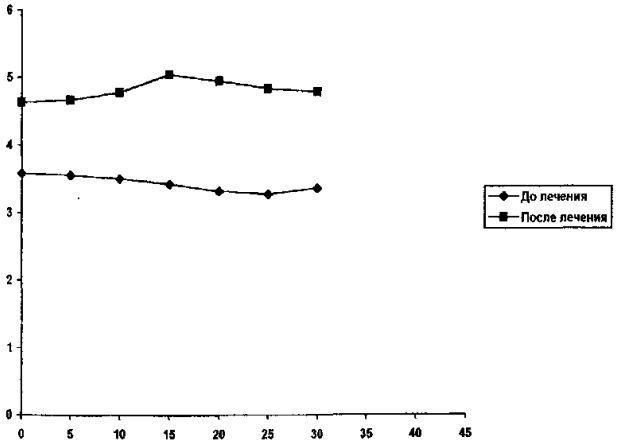


Рисунок 3. Моторика желудка до и после лечения методом акупунктуры с замедленной эвакуацией, без положительной динамики

Логинов А.С. с соавторами, 1984 [1], считают, что нарушения моторно-эвакуаторной функции желудка имеют существенное значение в местных механизмах образования язвы, причем они отличаются при различных ее локализациях. Для пилородуоденальных язв характерны гиперкинетические состояния, которые приводят к ускоренной эвакуации кислого желудочного содержимого в двенадцатиперстную кишку.

По нашим данным у 66,7% пациентов моторно-эвакуаторная функция оказалась замедленной. Наши результаты согласуются с другими авторами, которые при радионуклидном методе обследования сообщили о задержке эвакуации у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки.

Учитывая также, что в литературе нет единого мнения по поводу методик “возбуждающая” и “тормозная”, мы все же использовали методики – I вариант тормозного воздействия (40 минут) и II вариант тормозного воздействия (20 минут), основываясь на данные классических отечественных трудов по рефлексотерапии [2, 3].

Так, например, Гапонюк П.Я. с соавторами 1981 [4], 1988 [5] на основании собственных исследований утверждает, что на одно и то же воздействие реакция организма была различной в зависимости от исходного уровня функционирования исследуемой системы, и автор считает, что использование терминов “возбуждающая” и “тормозная” методики акупунктуры некоректно по своей сути.

Использовав обе методики воздействия (20 и 40), минут у пациентов с гиперсекреторным типом в исходном состоянии и сравнив эти группы статистически до и после лечения (14 процедур) показано, что в конечном итоге мы наблюдаем при повышенном кислотообразовании тенденцию к ее снижению, т.е. к нормализации секреторной функции желудка.

Динамика моторно-эвакуаторной функции желудка происходит следующим образом – при ускоренной эвакуации использовав вариант I тормозного воздействия, получили достоверное замедление моторики с 15-ой минуты после лечения у всех больных (33,3%).

У больных с замедленной перистальтикой применили II вариант тормозного воздействия (20 минут) и получили разнонаправленные результаты. У одной группы больных моторно-эвакуаторная функция ускоряется, т.е. происходит нормализация перистальтики (33,3%). У другой группы больных моторно-эвакуаторная функция еще более замедляется (33,3%). Следовательно, можно утверждать, что нормализация моторно-эвакуаторной функции желудка происходит у 66,6% больных, что примерно составляет 2/3 больных. Эти данные согласуются с проведенными ранее нами исследованиями [6].

Ряд авторов [1, 7, 8, 9] показывают, что изменение двигательной функции желудка при рефлексотерапии имеют тенденцию к нормализации как гипер-, так и гипокинетических состояний.

ВЫВОДЫ

1. Кислотообразующая функция желудка изменяется в сторону нормализации (повышения pH) вне зависимости от метода воздействия.

2. Корпоральная рефлексотерапия нормализует моторно-эвакуаторную функцию желудка в 66,6%, т.е. примерно у 2/3 больных. Более благоприятное влияние рефлексотерапии у пациентов с ускоренной эвакуацией в исходном состоянии. Менее благоприятно влияние рефлексотерапии у пациентов с замедленной эвакуацией в исходном состоянии.

3. При гиперацидности желудка и ускоренной эвакуации рекомендован первый вариант тормозного воздействия акупунктуры (40 минут) с использованием точек симпатомиметического действия (GI 11, MC 6, RP 4 и др.).

4. При гиперациацидности желудка замедленной эвакуацией рекомендован второй вариант воздействия акупунктуры (20 минут) с использованием точек парасимпатомиметического действия (E 36, GI 4 и др.).

5. Чувствительность пациентов к рефлекторному воздействию проявляется следующим образом: более чувствительны пациенты из группы с замедленной эвакуации из желудка без положительной динамики; далее следует группа с замедленной эвакуации из желудка с положительной динамикой; затем следует группа с ускоренной эвакуацией из желудка и положительной динамикой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ЛОГИНОВ, А.С., МЕЛЬНИКОВА, М.Н., ОСИПОВА, Н.Н., ВАСИЛЬЕВ, Ю.В. *Рефлексотерапия язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Методические рекомендации*. М., 1984, 14 с.
2. ЛУВСАН, Г. *Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии*. М., Наука, 1986, 575 с.
3. САМОСЮК, И.З., ЛЫСЕНЮК, В. П. *Акупунктура. Энциклопедия.* Киев-Москва, «АКТ-ПРЕСС» 1994 г., 540стр.
4. ГАПОНЮК, П.Я., ПЕРОВ, Ю.Ф. Исследование электродных потенциалов акупунктурных игл из различных металлов. В: *Вопросы курортологии физиотерапии и ЛФК*. 1981, № 1. с. 46-49.
5. ГАПОНЮК, П.Я., ЛЕОНОВА, М.В., ШЕРКОВИНА Т.Ю. Дискуссионные методические вопросы акупунктурной терапии. В: *УНИИ курортологии и физиотерапии*. М., 1988, с. 46-47.
6. ОРГАН, А.Н., КАНЦЕР, Г.Г., СТАВИНСКИЙ, Р.А., БАБИН, А.П., ДОНИ, Н.Г Анальгезирующий эффект иглорефлексотерапии и процесс кислотообразования у больных язвенной болезнью двенадцатиперстной кишки. В: Всес. конф. «*Методы исследования и лечения, аппаратные системы и ЭВМ в гастроэнтерологии*». Железноводск-Ессентуки, 9-10 октября 1991, с. 374.
7. ГОЙДЕНКО, В.С., КУЗНЕЦОВ, В.А., ВАСИЛЬЕВ, И.Т., КОТЕНЕВА, В.М. и др. Метод стимуляции моторики желудочно-кишечного тракта иглоукалыванием и электроакупунктурой. В: *Вопросы медицинской электроники. Межвуз. тематич. научн. сб.* вып.1, Таганрог, ТРТИ им. В.Д. Калмыкова, 1978, с. 184-187.
8. BRATU, I., STOICESCU, C. Experimentelle Versuche uber die Relation der organe in der Akupunktur. In: *Dtsch. Z. Akup*.1962.- Bd. II. p. 66-70.
9. MATSUMOTO, T., HAYES, M.F. Acupuncture. Electric Phenomen of the Skin and Postvagotomy Gastrointestinal Atony. In: *Am. J. Surg*.1973. V. 125. p. 176-180.

ПРЕДНЕРЕСТОВОЕ И ПОСЛЕ НЕРЕСТОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЯИЧНИКОВ ГУСТЕРЫ *BLICCA BJOERKNA* (LINNNEUS, 1758) В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПРУТА

PRE-SPAWNING AND POST-SPAWNING CONDITION OF THE OVARIES OF THE WHITE BREAM *BLICCA BJOERKNA* (LINNAEUS, 1758) IN THE LOWER PRUT

CZU: 597.551.2(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.53**

Нина ФУЛГА
ORCID: 0009-0007-1463-0790
E-mail: fulganina@yahoo.com
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Думитру БУЛАТ
ORCID: 0000-0003-1134-7176
E-mail: bulatdm@yahoo.com
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Денис БУЛАТ
ORCID: 0000-0003-0591-3960
E-mail: bulat.denis@gmail.com
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *Pre-spawning and post-spawning condition of the ovaries of the white bream Blicca bjoerkna (Linnaeus, 1758) in the Lower Prut. The white bream (Blicca bjoerkna) from the lower Prut River can be classified as a fish species with a conditionally short life cycle, characterized by a small number of age groups. It has been established that the length-weight parameters in female white bream from the lower Prut are slightly higher than those of individuals from the lower Dniester. Sexual maturity in females occurs at the age of two years. Oogenesis is characterized by asynchronous development of germ cells and fractional spawning. The spawning season begins in the first decade of May, at a water temperature of 16°C.*

Keywords: *white bream, lower Prut, oocyte, vitellogenesis, spawning, resorption.*

ВВЕДЕНИЕ

Густера *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) относится к семейству карповых и является единственным представителем рода *Blicca*. Этот вид широко распространен в реках и озёрах бассейнов Балтийского, Чёрного, Азовского и Каспийского морей [4, 9]. В водоемах северных широт, густера проявляет себя как вид со средним по длительности жизненным циклом. В бассейне Северного и Балтийского морей она

встречается в возрасте до 16 лет [2], а в низовьях Волги - до 11 лет. Половозрелая густера в этом районе представлена рыбами 2-11-летнего возраста, длиной до 32,8 см [6]. В реках Днестра и Прута распространена повсеместно, особенно многочисленна в низовьях данных водоемах Густера является теплолюбивой, озерно-речной пресноводной, но не избегающей солоноватых вод. [1] Широкий ареал густеры, ее встречаемость в водоемах различного типа свидетельствует о высокой экологической пластичности этого вида. Густера является теплолюбивой, озерно-речной пресноводной, но не избегающей солоноватых вод рыбой.

Размерно-весовые характеристики густеры из различных водоемов колеблются в широких пределах. В 70-89-е годы, в нижнем участке реки Днестр, преобладали рыбы размером 20-26 см. [7], а 1999-2006гг. густера в размерном отношении стала мельче [3]. В современных условиях реки Прут отмечены более высокие размерно-весовые показатели густеры, чем в нижнем Днестре (приплотинный участок Дубэссарской ГЭС) (табл.1).

В своей работе по нижнему Днестру, Кисилёва О. (2009) отмечала уменьшение средних размеров тела у густеры с 20 - 25 см (в 70-е – 80-е гг.) до 17 – 20 см. (1998 - 2007 гг.).

Густеру из нижнего Прута можно отнести к рыбам с условно коротким жизненным циклом, для которых характерно небольшое число возрастных групп. Как видно из таблицы в уловы попадались самки от трех лет до пяти годовалого возраста. В Днестре отмечено сокращение числа возрастных групп в уловах густеры с 6 (в 70-е – 80-е гг.) до 4-х (1998 – 2007 гг.) [3].

Таблица 1. Размерно-возрастные показатели густеры в разных водоемах Молдовы

Возраст	**Нижний Прут, 2024г.**		**Нижний Днестр 1999-2006**
	Длина, см	**Масса тела, г**	**Длина, см**
2+	15,70 ± 0,29	85,0 ± 2,17	13,47
3	17,12 ± 0,32	115 ± 4,43	14,80
4	19,10 ± 0,43	167,0 ± 7,82	17,40
5	22,70 ± 0,97	354,0 ± 16,20	–

Половозрелыми самки из нижнего Прута становятся в двух годовалом возрасте и в подтверждении этому в гонадах отмечено присутствие, у отнерестившихся самок, освободившихся фолликулярных мешков. Для густеры в современных условиях нижнего Днестра характерно более раннее половое созревание по сравнению с предыдущими годами По данным Л.В. Чепурновой [8] густера в приплотинном участке Дубэссарской ГЭС достигала половой зрелости в возрасте трех лет при размерах 20-23 см, то в настоящее время она становится половозрелой

в возрасте 1+ – 2+ при длине 12-15 см. Согласно данным Статовой [5], густера в Кучурганском водохранилище впервые шла на нерест в трехлетнем возрасте.

В апреле месяце, яичники густеры из Прута содержат три генерации яйцеклеток, старшая из которых находится в фазе завершенного вителлогенеза (рис. 1). У некоторых ооцитов наблюдается сдвиг ядра к аномальному полюсу. Более молодые ооциты приступают к накоплению желтка и завершению вакуолизации цитоплазмы, что соответствует IV стадии зрелости гонад.

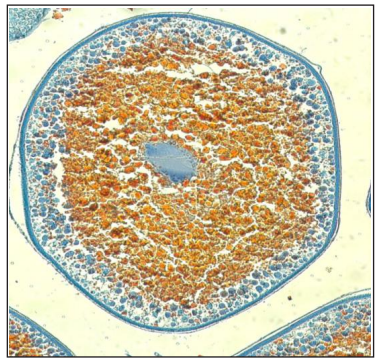


Рисунок 1. Яйцеклетка старящей генераций в фазе завершённого вителогинеза (апрель месяц)

Согласно литературным данным, сроки нереста густеры и нерестовые температуры в разных водоемах несколько различаются. Нерестовый сезон в нижнем участке Прута начинается в первой декаде мая, при температуре воды 16^0C. В этот период происходит вымет первой порции икры (рис. 2), что приводит к уменьшению величины ГСИ (табл. 2). Вторая генерация яйцеклеток находится в фазе интенсивного вителлогенеза, а ооциты третей – в фазах вакуолизации D_1-D_2. Такой состав яйцеклеток соответствует IV_2 стадии зрелости. В Днестре икрометание начинается в мае-июне при температуре воды 16-17^0C [1]. В Кучурганском водохранилище начало нереста происходит в середине апреля при прогреве воды до 14-17^0C [5].

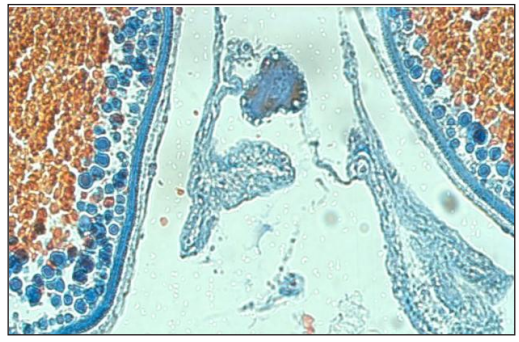


Рисунок 2. Фрагмент гонады после вымета первой порции икры

Согласно наших данных нерестовый сезон густеры в нижнем Пруту завершается в июле месяце. Гонады трехлетней самки длиной 15,7 см и массой 85 г, пойманной 2 августа, содержали освободившиеся фолликулярные мешки, генерацию ооцитов будущего года и не выметанные яйцеклетки в глубокой резорбции (рис. 3). Видимо, впервые, созревающая самка отнерестилась позже более крупных рыб. Следовательно, можно говорить, что нерестовый сезон у густеры в нижнем участке Прута начинается в первой декаде мая и заканчивается в июле. В нижнем Днестре, в июле встречаются самки, гонады которых находятся в IV, V и VI стадиях зрелости [3]. Автор, также, отмечает, что самки с гонадами в IV стадии зрелости, в июле текущего года, готовятся к третьему нересту.

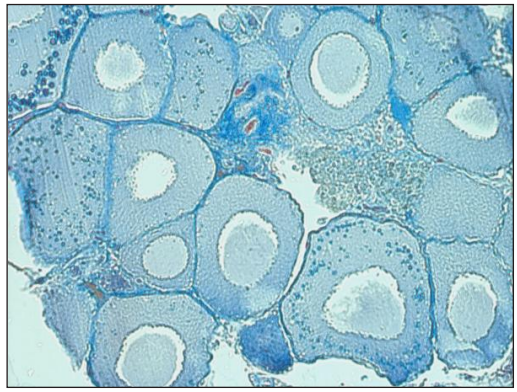


Рисунок 3. Фрагмент яичника после вымета третьей порции икры, 2 августа

В сентябре гонады половозрелой густеры переходят в III стадию зрелости. Начинается новая волна трофоплазматического роста.

Размеры ооцитов первой генерации в фазе завершенного вителлогенеа, второй генерации в фазе интенсивного вителлогенеза и ооцитов будущего года в фазах вакуолизации представлены в таблице 2.

Таблица 2. Репродуктивная характеристика самок Густеры нижнего Прута

Декада, месяц	**Стадия зрелости**	**ГСИ, %**	**Размер ооцитов старшей генерации**	**Фаза развития ооцитов старшей генерации**
Апрель I декада	IV	24,91± 2,23	816,8 ± 7,3	Завершенный вителлогенез
Май I декада	IV_2	12,80 ± 0,84	616,7 ± 6,9	Интенсивный вителлогенез второй генерации ооцитов
Сентябрь II декада	III	3,4 ± 0,27	287,3 ± 5,7	Вакуллизация цитоплазмы

ВЫВОДЫ

Широкий ареал встречаемости густеры в водоемах различного типа свидетельствует о высокой экологической пластичности этого вида. Густера обитающая реке Прут характеризуется асинхронным развитием яйцеклеток и порционным типом икрометания на что указывает присутствие в гонадах, параллельно с желтковыми ооцитами, половых клеток следующих генераций на всех фаза трофоплазматического роста. Установлено, что размерно-весовые показатели у самок густеры в нижнем Пруту несколько выше, чем у особей в нижнем участке Днестра. Половая зрелость у рыб данного вида в нижнем участке Прута наступает в два года. Нерестовый сезон начинается в мае и заканчивается в июле месяце, причем мелкие рыбы участвуют в нересте последними.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Долгий, Н.П. Ихтиофауна бассейнов Днестра и Прута. Кишинев: «Штиинца», 1993, с. 196-215.
2. Казанцев, В.В. В: Рыболов, 1988, № 5, с. 112-116.
3. Кисилёва, О., Экология популяций и репродуктивные особенности рыб с коротким жизненным циклом нижнего участка реки Днестр. В: Автореферат дисс. докт. биологии. Кишинэу, 2009, 25 с.
4. Никольский, Г.В. Теория динамики стада рыб. В: Пищевая промышленность. М. 1974, 448 с.
5. Статова, М. П. Годичные половые циклы у рыб Кучурганского лимана. В: Биологические ресурсы водоемов Молдавии. Кишинев, 1971, с. 53-60.
6. Тряпицына, Л.Н. Экология красноперки и густеры дельты Волги в условиях зарегулированного стока. Москва: «Наука», 1975, 179 с.
7. Чепурнова, Л.В., Плахотный, О.В., Марьясова, Л.Н., Чолак, Г.Г. Значение рукава Турунчук для размножения рыб нижнего Днестра. В: Рыбное хозяйство,1982. Вып. 12, с. 33-35.
8. Чепурнова, Л.В. Закономерности функций гонад, размножения и состояния популяций рыб бассейна Днестра в условиях гидростроительства. Кишинев: «Штиинца», 1991, 164 с.
9. https://www.fishbase.se/search.php .

N.B. *Работа выполнена в рамках национального проекта 010701 - ZOOAQUATERRA*

.

PROBLEME ȘI REALIZĂRI ÎN APLICAREA AMENZILOR PENTRU ÎNCĂLCAREA LEGISLAȚIEI FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA

PROBLEMS AND ACHIEVEMENTS IN THE APPLICATION OF FINES FOR VIOLATIONS OF LAND USE LEGISLATION. CASE STUDY: SOUTHERN REGION OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: [343.271:349.41]:303.433.2(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.54**

Petru BACAL
ORCID: 0000-0003-4262-1553
E-mail: pbacal16@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Fines are the most frequent and effective form of sanctioning for violations of land legislation in the Republic of Moldova. The main objectives of this study are: the role of fines in the economic and legal regulation of the use and protection of land resources in the Republic of Moldova; recent achievements and problems of their application; spatial aspects and the evolution of the application of fines in the Republic of Moldova and in its Southern Region, in particular; identification of recommendations for optimizing their implementation in urban and rural areas. The main methods applied in this article are: statistical, analytical, historical, analogical*.

Keywords: *soil, lands, fines, aplication, region, districts*

INTRODUCERE

Solurile sunt considerate, pe bună dreptate, cele mai valoroase resurse naturale, care au marcat profund ocupațiile tradiționale, caracterul și tenacitatea națiunii noastre. Totodată, abundența de terenuri arabile și pajiști deosebit de fertile, năvălirile fervente ale popoarelor nomade și manifestarea diverselor calamități naturale, precum seceta, invaziile de lăcuste etc. au condiționat adesea folosirea extensivă a terenurilor agricole și gestionarea ineficientă a resurselor de sol. Problemele legate de pierderea fertilității solurilor și productivității terenurilor agricole au atras atenția nu doar a oamenilor de știință, dat și a factorilor de decizie, fiind treptat aplicate diverse restricții în folosirea terenurilor agricole și solurilor afectate de diverse forme de impact asupra acestora, în special eroziunea cauzată de apă sau vânt, poluarea supranormativă cu deșeuri și diverse preparate chimice cu toxicitate înaltă.

În anii 1960-1970 a fost fondat sistemul de monitoring al solului, a fost creat serviciul agrochimic cu laboratoare analitice în fiecare raion, iar supravegherea folosirii normative a terenurilor și solurilor a fost declarată o prioritate, atât la nivel național,

cât și local. În pofida acestui fapt, cazurile de folosire neconformă a resurselor funciare erau deosebit de frecvente, atât pe terenurile publice, cât și pe loturile individuale a gospodăriilor casnice. Pentru a combate aceste practici păguboase, au fost introduse sancțiunile administrative [2, p. 78, 136], aplicate, de regulă, sub forme de amenzi și avertismente, iar în cazuri grave se aplica sistarea activităților economice a persoanelor juridice, amenzi deosebit mari sau chiar răspunderea penală a persoanelor cu funcții de răspundere.

În anii 1970-80, aplicarea sancțiunilor contravenționale este abordată, într-un număr redus de studii, fără a fi supuse unei analize profunde, îndeosebi în profil spațial. Printre aceste merită menționat studiul complex al mecanismului economic de utilizare rațională a resurselor naturale, elaborat sub coordonarea lui T. Golenco [13]. La începutul anilor ’90 de către V. Zubarev [14] şi A. Capcelea [6] au fost publicate studii analitice, care scot în evidență problemele gestionării economice a resurselor naturale, inclusiv rolul și eficiența amenzilor pentru încălcarea legislației de mediu.

În anii 1990-2000, fragmentarea excesivă și nerespectarea cerințelor ecologice la alocarea cotelor funciare individuale, lichidarea centrelor teritoriale de monitorizare a calității solurilor [3], exercitarea superficială a funcțiilor de evaluare și control de către autoritățile ecologice teritoriale, au cauzat încălcarea frecventă a legislației funciare și prejudicii semnificative asupra terenurilor și solurilor. În pofida acestui fapt, cuantumul amenzilor pentru încălcarea cerințelor ecologice de protecție a terenurilor agricole și solurilor era foarte redus (până la 100 lei) [7], iar frecvent se aplicau doar avertizări. Majoritatea absolută a amenzilor erau aplicate pentru ocuparea nelegitimă a terenurilor. Foarte rar erau aplicate amenzi pentru nimicirea stratului fertil de sol, neluarea măsurilor de prevenire a eroziunii solurilor, ridicarea stratului fertil al solului de pe terenurile fondului silvic, pentru falsificarea și ascunderea informației despre starea terenurilor [4, p. 197].

MATERIALE ȘI METODE

Principalele materiale care au stat la baza realizării acestui studiu au fost: 1) Codul Contravenţional al Republicii Moldova [7, 8]; 2) Anuarele „Protecția Mediului în Republica Moldova” ale Inspectoratului Ecologic de Stat/Inspectoratului pentru Protecția Mediului [1]; 3) Anuarele Agenţiilor şi Inspecţiilor Ecologice [9, 10]; 2) Rapoartele Biroului Naţional de Statistică privind aplicarea amenzilor per general și în profil teritorial [5], Informația Ministerului Afacerilor Interne privind aplicarea amenzilor la art. 115.3 [11]. Studiul a cuprins, cu precădere, anii 2010-2023.

Metodele principale utilizate: *statistică*, *analitică, istorică, analogică*, precum şi consultarea autorităţilor abilitate cu depistarea şi examinarea contravenţiilor ecologice. *Metoda statistică* a fost, pe larg utilizată la procesarea informaţiei statistice referitor la aplicarea amenzilor pentru încălcarea legislaţiei de folosinţă şi protecţie a resurselor funciare pe regiuni și raioane administrative, precum și pentru fiecare articol şi alineat al Codului Contravențional în acest domeniu. *Metoda analitică* a

fost folosită pentru evaluarea situației recente privind aplicarea teritorială a amenzilor pentru încălcarea legislaţiei funciare, diagnoza situaţiei în acest domeniu, stabilirea relației cauză-efect.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În noul Cod Contravențional (în vigoare de la 31 mai 2009) [8], cuantumul amenzilor pentru încălcarea legislației funciare a fost majorat semnificativ (până la 10 ori), inclusiv pentru folosirea neautorizată a terenurilor (art. 116.2), pentru nimicirea stratului fertil de sol (art. 115.1). Au fost introduse sancţiuni contravenționale pentru arderea, în câmp deschis, a resturilor vegetale (art. 115.3) și pentru neîndeplinirea cerințelor de recultivare a terenurilor (art. 117), iar ulterior pentru depozitarea neautorizată pe terenuri cu sol fertil a materialelor sau deșeurilor de construcție (art. 115.5). În plus, modificarea (în anul 2016) sumei unității convenționale (de la 20 lei la 50 lei), s-a soldat cu majorarea cuantumului amenzilor aplicate pentru majoritatea contravențiilor în domeniu. În plus, din anul 2009 și până în prezent, cuantumul amenzilor pentru arderea resturilor vegetale (art. 115.3) s-a triplat.

Cuantumul amenzilor pentru încălcarea legislaţiei funciare depinde de statutul contravenientului, de amploarea contravenției, precum și de frecvența acestor încălcări comise de contravenientul în cauză. La această se adaugă mărimea prejudiciului ecologo-economic real sau multiplicat, cauzat prin folosirea și poluarea ilegală și neconformă a terenurilor și solurilor [4, 12].

Pornind de la valoarea unității convenționale de 50 lei, cuantumul maxim al amenzilor pentru încălcarea legislației funciare (10 000-15 000 lei – pentru persoanele fizice și 30 000-40 000 lei – pentru persoanele juridice) este aplicat în cazul arderii resturilor vegetale (art. 115.3) [8]. Cuantumul mediu (de la 3000 lei pentru persoanele fizice și 5 000 lei pentru persoanele juridice) pot fi aplicate pentru majoritatea contravențiilor funciare, inclusiv pentru: degradarea și decopertarea neselectivă a stratului fertil de sol (art. 115.1), inclusiv din fondul silvic de stat (art. 120); falsificarea informației despre starea și folosirea terenurilor (art. 115.4); depozitarea neautorizată pe terenuri cu sol fertil a materialelor sau a deșeurilor de construcție (art. 115.5); folosirea neautorizată a terenurilor din fondul silvic și spațiile verzi (art. 134); neîndeplinirea cerințelor de recultivare a terenurilor (art. 117.2); neefectuarea măsurilor obligatorii de ameliorare a terenurilor, de protecție a solului contra eroziunii (art. 118); încălcarea regulilor de folosire a îngrășămintelor minerale, a preparatelor biologice şi chimice (art. 155). Cuantumul minim (de la 300 până la 1200 lei pentru persoanele fizice și de la 6000 lei pentru persoanele juridice) se aplică pentru: folosirea terenurilor contrar destinației indicate în actele cadastrale (art. 116.1); ocuparea ilegală a terenurilor și îngrădirea lor (art. 116.2); construcția și darea în exploatare a obiectivelor care generează poluarea solului (art. 115.2); neîndeplinirea cerințelor de menținere a stării terenurilor conform destinației lor (art. 117.1).

În perioada analizată, numărul amenzilor aplicate pentru contravenţiile în dome-

niul solului înregistrează o evoluție oscilantă, fără evidențierea unei tendințe generale pozitive sau negative. Această constatare este valabilă atât la nivelul Republicii, Regiunii de Sud și raioanelor acesteia, cât și pe articolele corespunzătoare ale Codului Contravențional și alineatele acestora. În anii 2010-2015, numărul amenzilor aplicate pentru încălcarea legislației funciare în Regiunea de Sud s-a majorat de cca 4 ori, iar sporul maxim se atestă în raioanele Cahul, Cantemir și Căușeni (tab. 1). În sub-perioada respectivă, cele mai multe amenzi au fost aplicate atât pentru arderea miriștii (art. 115.3), cât și pentru degradarea și decopertarea neselectivă a stratului fertil de sol (art. 115.1), ocuparea nelegitimă a terenurilor și folosirea lor contrar destinației atribuite (art. 116). Ulterior, se manifestă o evoluție oscilantă pe fonul unei tendințe generale negative, mai pronunțate la amenzile pentru contravențiile stipulate la articolele 115-116 (tabelul 2). Această evoluție se datorează reducerii considerabile a numărului controalelor ecologice, dar și disciplinării beneficiarilor funciari, în special la capitolul folosirea terenurilor și arderea resturilor vegetale. De asemenea, contravențiile pentru arderea resturilor vegetale în câmp deschis, de regulă, sunt mai frecvent depistate și documentate de către Comisariatele Raionale de Poliție, care au un număr mult mai mare de personal față de Inspecțiile Ecologice Raionale. În plus, conlucrarea dintre aceste 2 entități la controlul, evidența și monitorizarea contravenției respective este insuficientă, atât la nivel de raioane, cât și de aparat central.

Tabelul 1. Dinamica numărului de amenzi pentru încălcarea legislației funciare în Regiunea de Sud.

UAT	Anii													
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Căuşeni	12	61	68	23	28	41	25	10	6	7	5	7	11	7
Ştefan-Vodă	25	66	46	12	23	20	16	7	1	4	5	5	11	5
Cimişlia	4	11	20	22	25	7	18	11	30	15	21	31	24	7
Basarabeasca	0	6	4	14	11	4	16	7	7	1	3	2	5	1
Cantemir	9	14	16	66	55	84	29	18	6	5	6	11	8	3
Leova	36	83	87	17	45	26	23	18	10	13	13	26	7	3
Cahul	4	10	11	9	40	280	90	17	9	31	12	26	18	2
Taraclia	3	24	21	24	12	10	9	9	18	17	5	6	18	10
UTA Găgăuzia	31	42	45	57	55	31	63	48	34	25	18	32	13	9
Reg. de Sud	**124**	**317**	**318**	**244**	**294**	**503**	**289**	**146**	**121**	**118**	**88**	**146**	**115**	**47**
Total RM	**771**	**1259**	**1174**	**757**	**801**	**1140**	**773**	**522**	**344**	**354**	**311**	**428**	**630**	**223**

Sursa: tabelele 1-4 sunt elaborate de autor în baza datelor IES/IPM [1,9, 10], BNS [5] și MAI [11].

Tabelul 2. Dinamica numărului de amenzi pentru încălcarea legislației funciare în Republica Moldova și Regiunea de Sud conform articolelor Codului Contravențional.

Nr. art. Codului Contravențional	Anii													
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
115.1	195	134	225	104	65	119	70	66	26	33	36	44	41	25
	5	23	11	13	16	33	12	12	9	7	12	7	7	11
115.3	**272**	**772**	**547**	**96**	**134**	**98**	**109**	**54**	**34**	**64**	**65**	**88**	**417**	**115**
	61	***190***	***184***	***23***	***46***	**21**	**40**	**17**	**6**	**14**	**15**	**28**	**54**	**20**
116.1	94	101	85	171	159	405	138	65	43	53	41	53	31	9
	2	13	14	77	90	312	94	33	22	17	13	10	8	0
116.2	176	111	115	143	246	233	265	162	155	143	107	142	47	4
	47	41	52	59	92	80	100	63	61	59	25	57	8	1
117	4	2	3	3	3	1	1	6	4	5	11	10	19	24
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	2	4	8
118	*6*	*9*	*5*	*17*	*17*	9	15	4	5	1	0	0	9	1
	4	*4*	*5*	*14*	*7*	2	7	3	3	0	0	0	7	0
120	7	24	47	41	43	86	44	23	12	18	21	23	20	18
	0	4	1	6	8	21	10	3	3	5	3	5	3	3
134	6	10	17	8	8	9	3	3	2	0	2	11	2	10
	3	5	7	2	4	2	0	0	1	0	2	0	0	0

Notă: în partea de sus a barei sunt indicate datele la nivel de Republică, iar în partea de jos - pentru Regiunea de Sud

În mediul rural, cele mai multe amenzi sunt aplicate pentru arderea miriștii (art. 115.3), pentru degradarea și decopertarea neselectivă a stratului fertil de sol (art. 115.1), folosirea terenurilor contrar destinației (116.1). În acest caz, putem constata o complementaritate a celor 2 componente ale sancţionării economice: *amenzilor şi acţiunilor de recuperare a prejudiciului* cauzat solurilor [12]. Mai mult decât atât, aplicarea sancţiunilor pentru arderea miriștii, este mult mai uniformă și se constată în majoritatea raioanelor Republicii cu pondere mai mare a terenurilor arabile.

În orașe, majoritatea amenzilor sunt aplicate pentru ocuparea nelegitimă a terenurilor și abaterea de la documentația de organizare a teritoriului (art. 116). Totodată, este necesară o conlucrare mai eficientă cu judecătoriile teritoriale, care manifestă frecvent o atitudine superficială față de examinarea contravențiilor de mediu, ceea ce alimentează neglijența beneficiarilor funciari și autorităților publice locale față de problema respectivă [4, p. 202]. De asemenea, un număr foarte redus de amenzi sunt aplicate pentru folosirea neautorizată a terenurilor fondului silvic de stat (art. 134), pentru falsificarea și tăinuirea informației despre starea terenurilor (art. 115.4), depozitarea neautorizată pe terenuri cu sol fertil a deșeurilor de construcție (art. 115.5) și pentru neîndeplinirea cerințelor de menținere a stării terenurilor conform destinației lor (art. 117.1) (tabelul 2).

În anul 2023, în Republica Moldova pentru încălcarea legislației funciare au fost aplicate 223 amenzi (în anul 2022 − 630 amenzi), inclusiv 115 amenzi (52%) pentru arderea miriștii (art. 115.3), 25 de amenzi (11%) pentru decopertarea neselectivă a

stratului fertil de sol (art. 115.1), 24 amenzi pentru neexecutarea măsurilor de combatere a buruienilor, în special a ambroziei (art. 117.3) și 18 amenzi pentru ridicarea stratului fertil de sol din fondul forestier și a spațiilor verzi (art. 120). În Regiunea de Sud, pentru contravențiile constatate în domeniul solului au fost aplicate 47 amenzi, inclusiv 20 de amenzi la art. 115.3, 11 amenzi la art.115.1 și 8 amenzi la art. 117.3 (tabelul 2).

Tab. 3. Dinamica sumei amenzilor aplicate pentru încălcarea legislației funciare în Reg. de Sud (mii lei).

UAT	Anii													
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Căuşeni	3,2	34,1	18,6	26,6	37	54	49,8	12,8	7,9	9,3	7,65	13,1	51,8	47,3
Ştefan-Vodă	9,3	38	23,9	30,4	44,8	39,8	20,6	14,8	1,2	4,5	5,1	7,2	52,5	28
Cimişlia	1,4	6,2	11	24,6	37,1	5,8	34,7	15,7	64	26,4	38,1	65,4	73,8	46,5
Basarabeasca	0	4,8	3,2	7,6	10,6	3,2	9,6	7,6	7,5	1,5	5,5	3,9	10,9	10
Cantemir	6,6	26,2	12,4	16,8	18,6	33,8	30,4	14,6	14,6	17,4	5,45	18,6	39,2	11
Leova	8,7	28,8	28,2	27,6	20,8	21,6	47,8	18	16,8	26,4	13,7	40,7	13,9	17,5
Cahul	2,9	27,8	18,2	12,1	41,9	82,3	46	45	5,7	78,3	44,3	49,2	98	17
Taraclia	7,2	12,2	17	12,2	16,4	5,2	20,2	9,9	20,3	21,7	12,5	24,9	52,8	14,2
UTA Găgăuzia	12,4	39,8	21,9	35,5	75,6	73,7	73,1	119,7	98,2	65,7	68	91,7	59,3	80
Reg. de Sud	**51,7**	**218**	**154**	**193**	**303**	**319**	**332**	**260**	**236**	**251**	**200**	**315**	**452**	**271**
Total RM	**366**	**633**	**698**	**819**	**970**	**996**	**971**	**1012**	**700**	**781**	**638**	**833**	**1832**	**1250**

Similar numărului amenzilor, suma amenzilor aplicate și încasare pentru încălcarea legislației funciare înregistrează o evoluție oscilantă, dar pe fonul unei tendințe generale pozitive, care se manifestă în majoritatea absolută a raioanelor din RD Sud și în UTA Găgăuzia (tabelul 3).

Această tendință se datorează, cu precădere majorării cuantumului amenzilor, în special pentru arderea, în câmp deschis, a resturilor vegetale (art. 115.3), dar și aplicării acestora inclusiv de organele de poliție. Sumele maximale ale amenzilor au fost aplicate pentru: arderea resturilor vegetale (art. 115.3), nimicirea stratului fertil de sol (115.1), folosirea terenurilor contrar destinației (116.1) și ocuparea ilegală a terenurilor și îngrădirea lor. Totodată, rar se aplică amenzi pentru cauzarea eroziunilor (art. 118), pentru falsificarea informației despre starea terenurilor (art. 115.4) şi pentru neefectuarea lucrărilor de recultivare a terenurilor (art. 117.2), în pofida faptului că astfel de încălcări se comit deosebit de frecvent, iar acțiunile ce provoacă eroziunea sunt cele mai răspândite şi mai grave forme de impact asupra solurilor. O parte din încălcările privind cerințele antierozionale sunt aplicate pentru distrugerea stratului fertil de sol (art. 115.1).

Tabelul 4. Dinamica sumei amenzilor aplicate pentru încălcarea legislației funciare în Reg. de Sud (mii lei), conform articolelor Codului Contravențional.

Nr. art. Codului Contravențional	Anii													
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
115.1	48	51	96,6	46,3	43,5	87,5	40,5	38,3	17,5	20,7	25,9	45,6	84,6	152
	1,3	9,9	14,2	6,7	11,4	17,6	6,8	9,4	4,2	2,4	8,5	4,3	19,2	81
115.3	**70,8**	**210**	**134**	**228**	**305**	**192**	**304**	**174**	**136**	**325**	**215**	**286**	**1413**	**875**
	14,3	60,1	40,3	59,6	101	53,8	119	50,3	27	84,0	54,8	102	301	155
116.1	24,6	37,2	58,8	99,3	63,8	121	64,1	46,4	58,6	63,8	84,4	64,5	37,8	12,6
	1,1	4,6	3	16,4	27,1	73,1	35	17,9	13,1	6,5	26,6	9,2	3,6	0
116.2	178	126	125	115	241	217	282	304	314	243	198	207	80,3	4,6
	24,6	42,8	42	36,4	74,3	84,4	98,5	125	149	111	71,1	73,7	18,15	1
117	3,2	2,4	1,2	1,2	4,8	0,4	1	8	13,2	3,9	6,6	15,6	12	24,4
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,6	1,8	1,2	2,4	4,2
118	*3,2*	*4,8*	*2,4*	*7,2*	*10,8*	7,4	9,2	4,3	4,3	1,5	0	0	7,2	3
	1,6	*2,8*	*2,4*	*6*	*4,6*	1,4	3,4	3,7	2,9	0	0	0	4,2	0
120	6,6	14,8	42	43	53,8	143	37,9	22,1	20	40,8	39,8	35,7	36,8	67,3
	0	2,3	0,8	4,2	7,2	21,4	9	2,8	3,6	9,4	3,3	17,4	5,9	6,3
134	10	5,6	10,6	5,2	21,6	9,1	2,2	12,6	1,9	0	3	19,3	3,4	18
	1,8	2,6	4,2	1,4	8,4	4	0	0	0,9	0	3	0	0	0

În anul 2023, în Republica Moldova pentru încălcarea legislației funciare au fost aplicate amenzi în sumă de 1250 mii lei, din care au fost încasate 543 mii lei sau 43%. În Regiunea de Sud, suma amenzilor aplicate a fost de 271 mii le, iar a celor încasate de 122 mii lei (45%). Sumele maxime ale amenzilor pentru încălcarea legislației funciare în Regiunea de Sud au fost aplicate în UTA Găgăuzia (80,0 mii lei), precum și în raioanele Căușeni (47,3 mii lei) și Cimișlia (46,5 mii lei), iar sumele minime − în raioanele Basarabeasca, Cantemir și Taraclia, cu dimensiuni mai mici. În plus, numărul și suma amenzilor aplicate în anul 2023 sunt cu mult mai mici față de anul 2022 (tabelul 3).

În anul 2023, în Republica Moldova pentru arderea, în câmp deschis, a resturilor vegetale (art. 115.3) au fost aplicate amenzi în sumă de 875 mii lei sau 70% din suma amenzilor aplicate pentru contravențiile funciare (tabelul 4), din care au fost încasate 337 mii lei sau 39%. Pentru deteriorare stratului fertil de sol (115.1) au fost aplicate amenzi în sumă de 152 mii lei (12%), din care au fost încasate 83,3 mii lei sau 55%. În Regiunea de Sud pentru arderea miriștii au fost aplicate amenzi în sumă de 155 mii lei (84%), din care au fost încasate doar 57,3 mii lei sau doar 37%. Sumele maximale ale amenzilor pentru arderea miriștii au fost aplicate în raioanele Cimișlia (40,0 mii lei), Căușeni (37,5 mii lei). %. De asemenea, în Regiunea de Sud pentru nimicirea stratului fertil de sol (115.1) au fost aplicate amenzi în sumă de 81 mii lei, din care 53 mii lei 65%) au fost încasate.

CONCLUZII

1. Până la momentul actual, amenzile constituie cel mai utilizat instrument de reglementare a folosirii și protecției resurselor funciare. Mai frecvent sunt aplicate amenzi pentru arderea miriștilor şi pentru ocuparea nelegitimă a terenurilor şi foarte rar pentru eroziunea solurilor, pentru falsificarea informației despre starea terenurilor, neexecutarea lucrărilor de recultivare a terenurilor.

2. 4. Actualul mecanism de sancționare pentru contravențiile în domeniul solurilor nu creează motivația necesară pentru prevenirea şi reducerea impactului, iar mijloacele financiare acumulate din amenzile încasate nu ajung pentru realizarea măsurilor planificate de protecţie a solurilor şi terenurilor

3. Pentru optimizarea gestionării resurselor funciare, este necesar ca principiul complementarităţii să fie aplicat pentru majoritatea tipurilor de prejudicii cauzate resurselor respective.

REFERINȚE:

1. Anuarele IES/IPM. „*Protecția Mediului în Republica Moldova*”. Edițiile 2010-2023. Dispinibil online: https://ipm.gov.md/ro/rapoarte-anuale
2. BACAL, P. *Gestiunea protecţiei mediului înconjurător în Republica Moldova* (*Aspecte teoretice şi aplicative*). Chişinău: ASEM, 2010. 240 p. ISBN 978-9975-75-536-8.
3. BACAL, P. *Management of the impact on soil in Republic of Moldova: problems and solutions*. În: Analele Universităţii „Ștefan cel Mare”, Suceava, Seria Geografie. tom. XX - 2011. p. 44-56. ISNN 1583-1469.
4. BACAL, P. *Mecanismul economic de protecție a mediului în Republica Moldova. Abordare geografică și ecologică*. Chișinău: Biotehdesign, 2018. 296 p. ISBN 978-9975-108-50-8
5. Biroul Naţional de Statistică al RM. Rapoartele anuale (2010-2023) privind aplicarea sancţiunilor contravenționale în profil teritorial. Preprint.
6. CAPCELEA, A. *Republica Moldova pe calea dezvoltării durabile – realizări şi probleme*. Chişinău: I.N.C.E.F., 1995. 96 p.
7. Codul RM cu privire la contravenţiile administrative. Chişinău, 2007. 148 p.
8. Codul Contravenţional al RM (în vigoare din 31.05.2009). În: Monitorul Oficial Nr. 3-6 din 16.01.2009.
9. Inspectoratul Ecologic de Stat. Anuarele (2010-2017) privind calitatea factorilor de mediu şi activitatea Inspecţiilor Ecologice. Preprint
10. Inspectoratul pentru Protecția Mediului. Anuarele (2018-2023) privind calitatea factorilor de mediu şi activitatea Inspecţiilor Ecologice. Preprint.
11. Ministerul Afacerilor Interne al RM Informația privind aplicarea amenzilor la art. 115.3.

12. MIRON, V. Raport preliminar PNUD Moldova referitor la cadrul legal național și internațional privind amenzile / sancțiunile pentru prevenirea activităților dăunătoare pentru biodiversitate. Chișinău, 2017. 160 p.
13. ГОЛЕНКО, Т., НОВИК, С. Г., ПАВЛОВ, Г. В. *Эколого-экономическая оценка природопользования в агропромышленной сфере*. Кишинёв: Штиинца, 1988. 131 с.
14. ЗУБАРЕВ, В. *Экономический механизм природопользования в Республике Молдова*. Кишинэу: Молдавский НИИТЭИ, 1995. p. 56.

***NB**: Rezultatele cercetărilor prezentate în acest articol au fost obținute în cadrul Subprogramului 010801„Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu" implementat de Institutul de Ecologie și Geografie al USM.*

CONTRIBUȚIA AFLUENȚILOR RĂUT, BÂC ȘI BOTNA LA VARIABILITATEA FORMELOR DE AZOT ÎN FLUVIUL NISTRU ÎN PRIMĂVARA 2025

THE CONTRIBUTION OF THE RAUT, BAC, AND BOTNA TRIBUTARIES TO THE VARIABILITY OF NITROGEN FORMS IN THE DNIESTER RIVER IN SPRING 2025

CZU: 546.17:574.5(478:282) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.55**

Natalia BORODIN
ORCID: 0009-0005-9948-0490
E-mail: nataliaborodin100@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena ZUBCOV
ORCID: 0000-0002-8437-8195
e-mail: ecotox@yahoo.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nina BAGRIN
ORCID: 0000-0003-4816-4349
e-mail: nina.bagrin327@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary*.The study examines the influence of the Raut, Bac, and Botna tributaries on the nitrogen regime in the Dniester River, within the context of increasing anthropogenic pressures. Water samples were collected upstream, at confluence points, and downstream. Mineral nitrogen forms were measured using spectrophotometric methods, and organic nitrogen by the Kjeldahl method. The results indicate a pronounced dominance of mineral nitrogen in the tributaries (88–96%), far exceeding levels upstream in the Dniester (48–51%). The Bac River has the most severe impact, contributing ammonium over 335 times higher than in upstream Dniester and exceeding 15 mgN/L at the confluence, resulting in a 6.8-fold increase in ammonium downstream, as well as a significant rise in nitrites (0.032 mgN/L) and total nitrogen (1.023 mgN/L) downstream. The Raut River delivers the highest quantities of nitrates (3.23 mgN/L), while the Botna River, despite having high concentrations, is attenuated by dilution with the Dniester River water. Overall, the findings reveal an elevated risk of eutrophication, driven by the Nmin/Norg imbalance and the river's ecological vulnerability due to its specific hydrological regime and limited buffering capacity.*

Keyword: *Bac, Botna, Dniester, nitrogen, Raut*.

INTRODUCERE

Fluviul Nistru reprezintă unul dintre cele mai importante râuri transfrontaliere din Europa de Est, asigurând alimentarea cu apă potabilă și aprovizionând cu apă pentru necesitățile gospodărești populația din Republica Moldova și Ucraina. Compoziția hidrochimică a apei fl. Nistru este determinată de o varietate de factori naturali și antropici, inclusiv de aportul substanțial de poluanți provenind prin intermediul afluenților [1]. Cei trei afluenți de dreapta - Răut, Bâc și Botna – caracterizați printr-un nivel ridicat al încărcăturii antropice pot modifica semnificativ compoziția chimică a apei fluviului Nistru. În bazinele hidrografice ale acestor afluenți sunt localizate importante centre industriale și agricole, a căror activitate generează un impact antropogen semnificativ asupra compoziției hidrochimice a apelor acestor cursuri de apă [2]. Caracteristica comună a acestor râuri este poluarea cu compuși ai azotului, predominant de origine antropogenă. Totuși, fiecare râu are particularități specifice. Râul Răut, cel mai mare afluent de dreapta al fl. Nistru, traversează regiuni dens populate, inclusiv orașele Bălți, Orhei și Florești, precum și vaste terenuri agricole. Această dispunere geografică determină o diversitate a surselor de poluare și exercită influențe antropice semnificative asupra calității apei și regimului hidrologic al acestui curs de apă. Râul Bâc, traversează teritoriul capitalei, orașul Chișinău, care este supus unui impact antropogen intens, evidențiat prin concentrații crescute de compuși ai azotului. Această situație este generată de deversarea în râu a apelor uzate insuficient tratate, precum și a celor netratate, inclusiv a apelor reziduale provenite din sectorul industrial, alături de influența combinată a surselor de poluare comunale și agricole. Calitatea apei r. Bâc este influențată și de lacul de acumulare Ghidighici, pe litoralul căruia este amplasată una dintre zonele de agrement ale municipiului Chișinău. Râul Botna, traversează sud-estul Republicii Moldova, contribuie cu un aport ridicat de compuși biogeni, determinat atât de condițiile naturale ale bazinului hidrografic, cât și de presiunile antropice, în special cele asociate activităților agricole și deversării apelor reziduale [3]. Influența r. Botna asupra Nistrului este limitată de construcții neautorizate de retenție, care reduc scurgerea, perturbă debitul natural și afectează procesele ecologice.

MATERIAL ȘI METODĂ

Probele de apă au fost colectate din zonele de confluență ale râurilor Răut, Bâc și Botna cu fl. Nistru, precum și din zone situate în amonte și aval de confluență. Prelevarea s-a realizat conform metodologiei standardizate pentru monitorizarea calității apei [4]. Determinarea conținutului formelor minerale de azot au fost efectuate prin metodele spectrofotometrice la Spectrofotometru Specord 210 AnalyticJena cu set sowtare [5]. Pentru cuantificarea azotului organic în probele de apă a fost utilizată metoda clasică Kjeldahl [6].Conținutul de azot total a fost determinat prin calcul matematic, ca sumă a concentrațiilor azotului mineral și organic. Rezultatele obținute au fost prelucrate și analizate statistic utilizând software-ul Microsoft Excel.

REZULTATELE ȘI DISCUȚII

Ionii de amoniu (N-NH$_4^+$). Râul Răut transport către fl. Nistru un conținut de 0,137 mgN/L, cu 0,093 mgN/L mai mult decât în Nistru amonte și 0,085 mgN/L mai mult decât în aval. Aceasta reprezintă o creștere de 3 ori față de amonte și 2,6 ori față de aval, evidențiind presiunea semnificativă asupra compoziției chimice apei fl. Nistru. În Nistru aval, conținutul lor este mai mic decât în Răut, sugerând diluția, nitrificarea sau alte procese naturale de reducere a amoniului. Diferența de conținut între secțiunile amonte și aval ale fl. Nistru este de 0,008 mgN/L, o creștere de circa 18%. Aceasta reflectă un aport semnificativ, provenit în principal din poluare antropică, precum ape uzate urbane și activități agricole din bazinul r. Răut (Fig. 1).

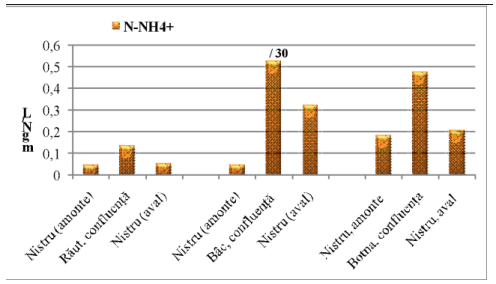


Figura 1. Ioni de amoniu în râurile Răut, Bâc și Botna (zona de confluență) și fl.Nistru (amonte și aval de confluență); r.Bâc, confluență, valoare micșorată de 30 ori.

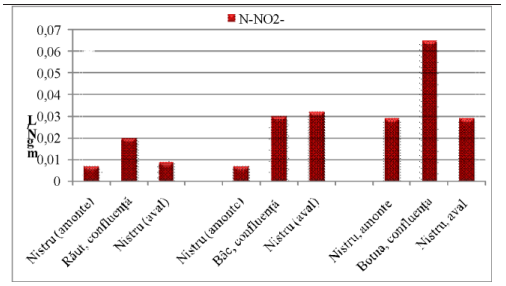


Figura 2.Conținutul ionilor nitrit în râurile Răut, Bâc și Botna, zona de confluență și fl. Nistru (amonte și aval de confluență).

Râul Bâc aduce un aport foarte ridicat de amoniu în fl. Nistru, 15,7 mgN/L, o sporire de peste 335 ori față de Nistru amonte și 49 ori față de aval. Scăderea concentrației în aval se datorează diluției, nitrificării și altor procese biochimice. Totuși, r. Bâc influențează clar concentrația ionilor de amoniu în Nistru aval, cu o creștere absolută de 0,28 mgN/L, ce corespunde unei sporiri de 6,8 ori față de Nistru amonte [Fig. 1]. La confluența cu Botna, s-a înregistrat un conținut de 0,48 mgN/L, o valoare de 2,6 ori mai mare decât în Nistru amonte, indicând un surplus provenit probabil din surse agricole, deversări sau descompunere locală. Variația concentrației ionilor de amoniu în Nistru, înainte și după confluența cu Botna, este de 0,024 mgN/L, indicând o creștere ușoară în aval. Impactul r. Botna asupra fl. Nistru aval este de aproximativ 8,1%, indicând că doar acest procent din surplusul de amoniu din Botna se regăsește în Nistru aval. Deși Botna are un conținut ridicat, influența sa este atenuată de diluția produsă de debitul mare al Nistrului, deși modificarea chimică a apei rămâne vizibilă [Fig. 1].

Ionii nitrit (N-NO$_2^-$). Concentrația de nitriți la confluența cu r. Răut (0,02 mg/L) este de 3 ori mai mare decât în Nistru amonte (0,007 mg/L), indicând poluare locală în bazinul Răut. După confluență, în Nistru aval, creșterea ușoară arată influența Răutului,

parțial atenuată de diluție, cu o contribuție relativă modestă de 15,4%. Râul Bâc aduce nitriți în concentrație de peste 4,2 ori mai mare decât Nistrul amonte, indicând poluare severă în bazinul său. După confluență, nivelul lor în Nistru aval crește de 4,6 ori sau cu 357%, cu o variație absolută de 0,025 mgN/L, reflectând un impact semnificativ asupra calității apei. Creșterea semnificativă indică un aport major de poluanți din r. Bâc. Contribuția sa depășește 100%, ceea ce sugerează că în aval concentrația este mai mare chiar decât în Bâc, posibil din cauza acumulării locale de poluanți sau a altor surse de poluare, punctiforme ori difuze (Fig. 2).

Râul Botna aduce o apă cu o concentrație de nitriți de 2,2 ori mai mare decât în Nistru în amonte. Din toate cele trei râuri studiate, r. Botna aduce în fl. Nistru cel mai mare conținut de nitriți, însă această poluare nu a afectat concentrația finală măsurată în Nistru aval. Aceasta poate fi explicat prin debitul mic al Botnei comparativ cu cel al Nistrului, iar aportul său este complet diluat.

Ionii de nitrat (N-NO_3^-). Concentrația de nitrați în r. Răut la confluență (3,23 mg/L) este de 15,7 ori mai mare decât în Nistru amonte (0,21 mg/L), indicând o sursă majoră de poluare cu compuși azotați oxidați, proveniți probabil din agricultură, ape uzate sau alte surse antropice. După confluență, nivelul de nitrați în Nistru aval a crescut cu ~178%, reflectând clar impactul afluentului.

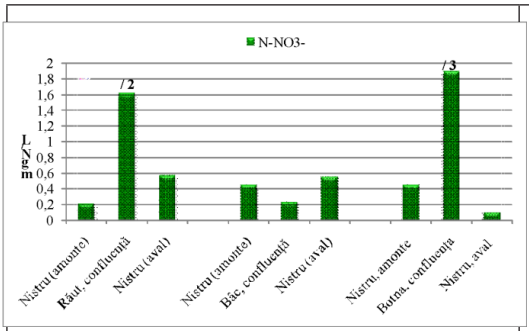


Figura 3. Conținutul ionilor nitrat în râurile Răut, Bâc și Botna, zona de confluență și fl. Nistru (amonte și aval de confluență); r. Răut, Botna la confluență cu valori micșorate de 2, respectiv 3 ori.

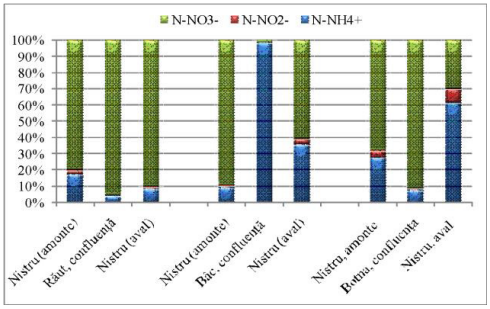


Figura 4. Cota parte a formelor minerale de azot din azotul mineral total (Nmin), (%).

Apa din r. Bâc, la confluență, are un conținut de aproximativ 51,8% din concentrația de nitrați prezentă în Nistru amonte. Deși r. Bâc are o concentrație mai mică decât fl. Nistru în amonte, după confluență, conținutul lor sporesc în Nistru aval. Rezultatul arată că, în Nistru aval, concentrația de nitrați a crescut cu aproximativ 22,3% față de cea din amonte (Fig.3).

Râul Botna, la confluență cu un conținut de nitrați de 12,7 ori mai mare decât în Nistru amonte (5,676 mg/L). Totuși, după confluență, concentrația de nitrați în Nistru scade la 0,099 mg/L, față de 0,446 mg/L în amonte - o reducere de 0,347 mg/L, adică 77,8% (Fig.3).

Raportul dintre formele minerale ale azotului. Pentru fl. Nistru, amonte de confluența cu r.Răut, forma predominantă de azot mineral au fost ionii nitrat, reprezentând peste 80% din azotul mineral total, iar la confluența cu Răut chiar peste 95%. Acest lucru arată că în apă are loc un proces intens de transformare a azotului în nitrați. Ionii de amoniu reprezintă 17% în Nistru amonte, scad la 4% la confluență, apoi cresc ușor în aval, la 8%. Nitriții au o pondere redusă (sub 3%), fiind o formă intermediară tranzitorie. La confluență, scad sub 1% (Fig. 4).

R. Bâc. La confluență, ionii de amoniu domină (98,37%), sugerând o sursă majoră de azot redus, probabil din ape uzate sau poluare organică recentă. În zona de confluență, nitrații reprezintă doar 1,45%, indicând nitrificare slabă sau poluare constantă. După confluența cu r. Bâc, în Nistru aval, proporția ionilor de amoniu scad, față de conținutul din afluent iar cea a nitraților crește la 60,75%, sugerând oxidarea parțială a amoniului. Totuși, ionii de amoniu în aval este cu mult mai mare decât în amonte (35,7% vs. 9,34%), ceea ce poate indica poluări locale suplimentare [Fig. 4].

R. Botna. La confluență, nitrații reprezintă 91,28% din azotul mineral total, sugerând poluare veche sau un sistem cu procese de nitrificare active. Ionii de amoniu a fost redus (7%), în zona de confluență, iar nitriții au fost minimi (1,05%). După confluență cu Botna, în Nistru aval, ionii de amoniu cresc puternic (61,56%), iar nitrații scad mult (29,73%), ceea ce poate indica fie surse locale de amoniu fie procese de reducere (denitrificare sau alte transformări) (Fig. 4).

Azot mineral (Nmin). Azotul organic (Norg). Analiza hidrochimică arată că râurile Răut, Bâc și Botna contribuie diferit la bilanțul azotului din Nistru, în funcție de regimul hidrologic și sursele de poluare. Primăvara, Răutul, cu un debit de aproximativ 13,5 m^3/s, a transportat în Nistru cantități semnificative de azot mineral (3,38 mg/l) și o concentrație de 10 ori mai mică de azot organic (0,30 mg/l). Debitul crescut și influența activităților agricole pot determina încărcări ridicate cu azot mineral, favorizând acumularea acestuia în apele Nistrului. Râul Bâc are un debit redus (5,83 m^3/s), dar aportul apelor uzate din Chișinău cresc semnificativ concentrația de azot mineral (16,01 mg/l) și azot organic (0,68 mg/l). Deși are un debit mai mic, concentrațiile mari de azot fac din r. Bâc principala sursă de influență asupra compoziției de azot din fl. Nistru, în aval de confluență. Râul Botna, cu un debit minim (1,05 m^3/s), are un raport mai echilibrat dintre formele de azot (N_{min} = 6,22 mg/l, N_{org} = 0,85 mg/l). Acest lucru denotă procese biogeochimice mai intense în bazinul său, în conformitate cu valoarea mai mică a încărcărilor absolute transferate către fl. Nistru.

După amestecarea apelor afluenților Răut și Bâc cu apele fl. Nistru, concentrația de azot mineral în fl. Nistru crește semnificativ. După confluența cu Răutul, azotul mineral din fl. Nistru a crescut cu 0,38 mg/L (de 2,5 ori), iar după cea cu Bâcul – cu 0,40 mg/L (de 1,8 ori). Deși r. Bâc aduce un aport mare de azot, creșterea în fl. Nistru este parțială, probabil din cauza diluției, însă impactul ecologic rămâne important. Cu toate că, r. Botna aduce un conținut de azot mineral de 0,66 mg/L, în Nistru aval scade de 2 ori. Astfel, afluenții cu conținut ridicat de azot mineral în raportul Nmin/Norg sporesc încărcătura

asupra fl. Nistru, amplificând riscul de eutrofizare, mai ales în perioada de primăvară și vară.

Concentrațiile de azot organic în fl.Nistru prezintă o tendință de micșorare după confluență. Astfel, în aval de confluență cu r. Răut, concentrația scade de la 0,25 mg/l la 0,24 mg/l, iar în cazul r.Bâc, de la 0,54 mg/l la 0,12 mg/l. Valoarea maximă a azotului organic (0,85 mg/l) a fost înregistrată la confluența cu Botna, în timp ce în Nistru concentrația scade de la 0,63 mg/l în amonte la 0,24 mg/l în aval. Datele evidențiază influența semnificativă a afluenților asupra dinamicii azotului organic și asimilarea activă a acestuia de către biota în zona de amestec a apelor [7].

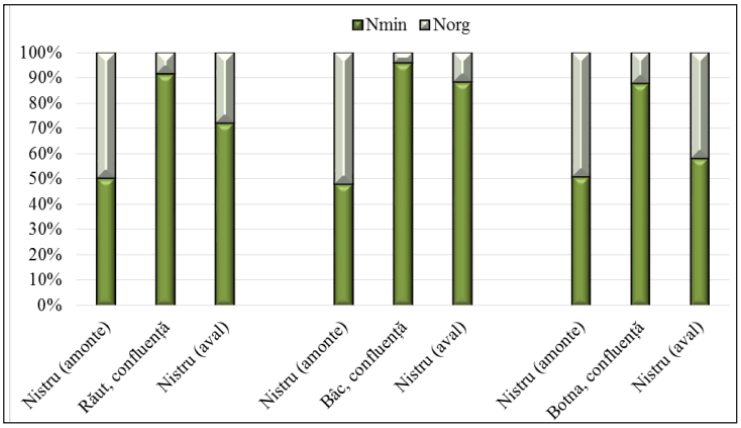


Figura 5. Conținutul azotului mineral (N_{min}) organic (N_{org}) în râurile Răut, Bâc și Botna, zona de confluență și fl. Nistru (amonte, aval).

În afluenții analizați, azotul mineral (Nmin) a predominat față de azotul organic (Norg), reprezentând între 88% (r. Botna) și 96% (r. Bâc) din azotul total (Fig. 5). Această dominanță a formelor minerale, caracteristică bazinelor cu agricultură intensivă și urbanizare, favorizează procesele de eutrofizare [8]. Revărsarea r. Răut, caracterizat prin dominanța de azot mineral (>90%), crește semnificativ ponderea acestuia în fl. Nistru (de la 50,5% la 72,2%) și reduce ponderea azotului organic, indicând aportul de forme anorganice de azot ușor asimilabile, caracteristic zonelor urbanizate. Râul Bâc, cu o pondere ridicată de azot mineral (95,9%), determină cea mai mare modificare a structurii formelor de azot din Nistru. Ponderea azotului mineral aproape se dublează (de la 48,1% la 88,4%), semnalând o poluare antropică intensă și un impact negativ major asupra regimului de azot al fluviului. Concentrația de azot organic scade semnificativ în aval (de la 0,54 la 0,12 mg/l), sugerând o transformare accelerată. Deși r. Botna aduce ape bogate în azot mineral (88,0%), influența sa asupra raportului formelor de azot din fl. Nistru aval este mai redusă comparativ cu r. Bâc și r. Răut. Ponderea Nmin crește moderat (de la 51,0% la 58,4%), iar Norg scade. Modificările mai slabe ale concentrațiilor pot fi legate de valorile ridicate din amonte sau de modul de amestec al apelor. Afluenții studiați Răut,

Bâc și Botna prezintă un nivel ridicat de azot mineral la vărsare (88–96%), mult peste valorile din Nistru amonte (48–51%). După confluență, procentul de azot mineral în fl. Nistru crește semnificativ, iar cel de azot organic scade (Fig. 5).

CONCLUZII

Râul Răut are un impact moderat asupra creșterii conținutului de amoniu, influență atenuată de diluție și procese biochimice cu apa fl. Nistru. Totuși, contribuie semnificativ la creșterea nitriților în aval de confluență și, dintre cei trei afluenți analizați, aduce cel mai mare aport de nitrați și azot mineral în Nistru aval, indicând poluare agricolă sau urbană activă în bazinul său.

Râul Bâc este cel mai poluat dintre afluenți, aducând un aport de amoniu de peste 335 ori mai mare decât în Nistru amonte și determinând o creștere de 357% a nitriților în aval. Concentrația de nitriți în Nistru aval crește de 4,6 ori, iar efectul diluției este insuficient. Deși are un conținut mai redus de nitrați, creșterea ușoară în aval sugerează alte surse sau procese locale.

Râul Botna contribuie moderat la creșterea conținutului ionilor de amoniu, influența lor fiind parțial redusă de diluție și de procese biochimice. Deși, are cel mai mare conținut de ioni nitrit nu influențează concentrația finală. Se poate datora debitului mic al Botnei sau diluției totale cu apa din fluviul Nistru.

REFERINȚE:

1. ZUBCOV, E., JURMINSKAIA, O., BAGRIN, N., BORODIN, N., ANDREEV, N. Dinamica parametrilor fizico-chimici în apele fluviului Nistru. În: *Akademos*. 2017, nr.1 (44), p. 48-53. ISSN 18-57-0461/ISSN 2587-3687.
2. BORODIN N. Conținutul elementelor biogene în apele râului Bâc în primăvara anului 2018. În: Conferința „Functional Ecology of Animals": materialele simpoz. intern., 21 sept. 2018. Chișinău, pag. 381-387.
3. Borodin, N., Zubcov, E., Bagrin, N. Calitatea apei râului Botna și influența asupra fluviului Nistru. In: *Education through research for a prosperous society, 12th edition*: materialele conf., 1-2 martie 2025. Chișinău: UPSC, 2025, Vol. 1, p. 78 - 84.
4. Ghid de prelevare a probelor hidrochimice și hidrobiologice. ed.: Toderaș, I. [et al.], Chișinău: Elan poligraf, 2015. pp. 37-40. ISBN 978-9975-66-480-6.
5. Monitoringul calității apei și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acvatice: Îndrumar metodic/Acad. de Științe a Moldovei, Inst. de Zoologie, Univ. Acad. de Științe a Moldovei. Chișinău, 2015. 84 p. ISBN 978-9975-66-503-2.
6. Guidance on the Monitoring of Water Quality and Assessment of the Ecological Status of Aquatic Ecosystems. Editors: Bileţchi Lucia, Zubcov Elena. Chişinău, 2021, 92 p. ISBN 978-9975-157-05-6.

7. JOSHI, B. et al. Sediment-Nitrogen (N) connectivity: suspended sediments in streams as N exporters and reactors for denitrification and assimilatory N uptake during storms. Front. Water, 2023, Vol.5:1254225. https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1254225.
8. WOJCIECHOWSKA, E. et al. Seasonal changes of the concentrations of mineral forms of nitrogen and phosphorus in watercourses in the agricultural catchment area (Bay of Puck, Baltic Sea, Poland). *Water Science and Technology: Water Supply,* 2019, Vol. 19 (3), pp. 986-994. https://doi.org/10.2166/ws.2018.190.

N.B. *Rezultatele relatate obținute în cadrul subprogramului 010701 al USM și al proiectului implementat de către AO „ECOTOX”, finanţat din Fondul Naţional pentru Mediu.*

IMPACTUL ÎNGHEȚURILOR TÂRZII DE PRIMĂVARĂ ASUPRA CULTURILOR DE MĂR PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

THE IMPACT OF LATE SPRING FROSTS ON APPLE CULTIVATION IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

CZU: [632.111.52:634.11]:551.583"321"(478) https://doi.org/10.59295/spd2025e.56

Aliona BOTNARI
ORCID: 0000-0002-7930-3746
E-mail: lionkabotnari@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorica ANGHELUȚA
ORCID: 0009-0007-3565-0811
E-mail: vioricaangheluta@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ilie BOIAN
ORCID: 0000-0002-7632-2562
E-mail: ilieboian@mail.ru
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study aims to assess the impact of late spring frosts on apple crops (Malus domestica Borkh.) in the Republic of Moldova, with a case focus on the Ialpug river basin. The objectives were to analyze the duration and intensity of late frosts in relation to sensitive phenological stages of apple trees and to identify critical overlap periods with bud development and flowering. The research used phenological and climatic data from 2005–2020 provided by the State Hydrometeorological Service, associating phenological observations with nearby meteorological stations. Statistical processing was conducted in Microsoft Excel, while spatio-temporal modeling was performed through linear interpolation in ArcGIS. Results show that southern Moldova, especially the Ialpug basin, is highly vulnerable, with minimum temperatures reaching –3.5 °C during critical growth stages, causing considerable damage. The findings underline the need for adaptive orchard planning, the selection of tolerant cultivars and rootstocks, and the implementation of early warning systems to strengthen the resilience of apple production in the face of more frequent and severe late spring frost events.*

Keywords: *phenological phases, apple plantations, late frosts, Ialpug river basin.*

INTRODUCERE

Schimbările climatice s-au intensificat în ultimele decenii, afectând ecosistemele agricole și stabilitatea producției pomicole la scară globală. Republica Moldova, cu climat temperat continental, resimte tot mai frecvent efectele acestor transformări prin creșterea fenomenelor meteorologice extreme: secetă, grindină, ploi torențiale și înghețuri în afara sezonului hibernal [3].

Vulnerabilitatea mărului la aceste fenomene este strâns legată de fenologia culturii, în special în fazele timpurii (desfacerea mugurilor, înflorirea, formarea fructelor). Temperaturile critice diferă în funcție de stadiu: bobocii rezistă până la -2,8…-4°C, florile deschise sunt afectate între -1,7…-3,2°C, iar fructele abia formate pot fi compromise la -1,1…-2,7°C [2, 3, 10]. Cea mai vulnerabilă componentă floral este pistilul, a cărui distrugere precoce duce la avortarea florilor, chiar dacă celelalte organe (stamine, ovare) rămân intacte. Studii din SUA [8] au arătat că mugurii de măr pot suporta -2°C dacă dezghețarea se produce lent, fără ruperea pereților celulari, însă un dezgheț rapid provoacă leziuni severe chiar la temperaturi moderate, ceea ce explică de ce nu doar minima atinsă, ci și dinamica termică a nopții este importantă. În condițiile actuale, cu temperaturi medii anuale în creștere și fenofaze de primăvară devansate [6], pomii fructiferi sunt expuși mai devreme riscului înghețurilor tardive, astfel încât suprapunerea fazelor sensibile cu episoadele reci devine mai probabilă.

Capacitatea de adaptare a soiurilor și plasticitatea lor ecologică joacă un rol major în răspunsul la stresul termic, iar evaluarea corelată a datelor meteorologice și a fenologiei este esențială pentru planificarea adaptivă a livezilor [7].

În plus, măsuri precum alegerea soiurilor tolerante, managementul termic al solului, tăieri raționale, optimizarea nutriției sau utilizarea stațiilor automate de avertizare timpurie pot spori reziliența sistemelor pomicole [1].

În acest context, studiul își propune să evalueze impactul înghețurilor târzii de primăvară asupra culturilor de măr în Republica Moldova în raport cu schimbările climatice, prin analiza duratei și intensității înghețurilor în corelație cu fenofazele sensibile ale mărului, determinarea etapelor fenologice vulnerabile (umflarea mugurelui, desfacerea mugurelui, formarea butonului floral) și a perioadelor critice de suprapunere cu aceste episoade, analiza spațio-temporală a fenomenelor din bazinul hidrografic Ialpug pe baza datelor de la stațiile Cahul, Comrat și punctul fenologic Basarabeasca, precum și compararea frecvenței și intensității înghețurilor din sudul țării cu regiunile centrale și nordice, pentru evidențierea particularităților microclimatice ale bazinului Ialpug.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru realizarea acestei cercetări au fost utilizate date factologice provenite din arhiva Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHS) [5], vizând manifestarea fazelor fenologice ale mărului, precum și durata și intensitatea înghețurilor târzii de primăva-

ră, în perioada 2005–2020. Data ultimului îngheț a fost determinată ca fiind ultima zi a lunii în care s-a înregistrat o scădere a temperaturii aerului sub 0°C în sezonul de primăvară. În conformitate cu recomandările metodologice din literatura de specialitate și cu practica standardizată în studiile de profil, evaluarea pericolului de îngheț a fost efectuată prin corelarea valorilor minime de temperatură (Tmin < 0°C), înregistrate la înălțimea standard de 2 metri în adăpost meteorologic, cu etapele fenologice sensibile ale mărului: dezmugurirea, desfacerea mugurelui, apariția primelor frunze, butonul floral, înflorirea și sfârșitul înfloririi.

Având în vedere că, în unele cazuri, amplasarea geografică a stațiilor fenologice nu coincide cu cea a stațiilor meteorologice, suprapunerea datelor s-a realizat prin asocierea fiecărei stații fenologice cu cea mai apropiată stație meteorologică, respectiv: Florești - Bălți, Drochia - Soroca, Strășeni - Bravicea, Orhei - Bravicea și Basarabeasca - Comrat. Prelucrarea și analiza statistică a informațiilor s-a efectuat utilizând programul Microsoft Excel, iar pentru modelarea spațio-temporală a distribuției înghețurilor periculoase (în funcție de durată și intensitate) s-a utilizat metoda interpolării liniare în cadrul aplicației ArcGIS. La baza interpolării au stat date climatologice multianuale provenite de la 17 stații meteorologice din rețeaua oficială a SHS.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Temperaturile minime care apar în afara sezonului lor obișnuit, cum sunt înghețurile de primăvară, pe fondul unor temperaturi deja pozitive, reprezintă episoade de scurtă durată, dar cu impact semnificativ asupra culturilor agricole. În mod normal, înghețurile tardive sunt considerate riscuri relevante pentru plantele de cultură din regiune după 1 aprilie.

Pentru a identifica perioadele critice în care înghețurile pot afecta cultura mărului, au fost analizați parametrii principali ai acestor fenomene - durata și intensitatea - în intervalul 2005–2020 (fig. 1, 2).

În Republica Moldova, perioadele sinoptice favorabile apariției înghețurilor în primăvară sunt relativ scurte, în medie 1–2 zile, distribuite neuniform pe teritoriul țării. Această variabilitate se explică prin transformările maselor de aer rece arctic în deplasarea lor spre sud, influențate de condițiile fizico-geografice locale.

Analiza spațio-temporală a duratei înghețurilor periculoase în contextul schimbărilor climatice arată că, față de studiile anterioare, cele mai timpurii și cele mai târzii înghețuri au în general o durată scurtă (1–2 zile), explicabilă prin încălzirea rapidă a aerului de la suprafață. Totuși, durata anuală a acestor înghețuri variază considerabil, de la minimum 1 zi (stația Fălești) la maximum 16 zile (stația Cornești).

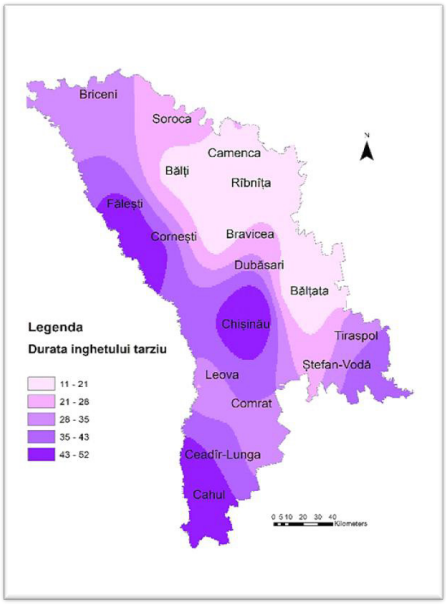


Figura 1. Durata înghețurilor tardive de primăvară (zile)

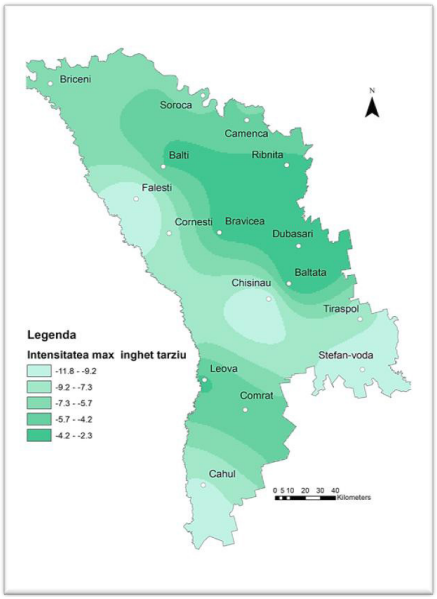


Figura 2. Intensitatea înghețurilor

Pentru perioada 2005–2020, durata înghețurilor tardive de primăvară a variat la nivel național între 18 și 51 de zile, cu o medie anuală de aproximativ 35 de zile. Anii cei mai afectați au fost 2010 (75 de zile), 2018 (52 de zile) și 2006 (51 de zile), în timp ce cele mai scurte durate s-au înregistrat în 2007 și 2015 (22 de zile) și în 2011 (23 de zile). Cele mai multe zile cu îngheț în perioada analizată au fost raportate în martie - 294 zile cumulate, cu maxime la stațiile Chișinău (48 de zile) și Fălești (45 de zile).

Un alt parametru important este intensitatea înghețurilor, care variază semnificativ pe teritoriul țării, influențată de factori fizico-geografici și climatici. Intensitatea crește în câmpiile joase, unde aerul rece se acumulează, în timp ce relieful fragmentat din centru-nord favorizează circulația aerului, reducând durata și severitatea înghețurilor. De asemenea, corpurile de apă pot crea inversiuni termice care intensifică înghețurile în anumite condiții. Zonele cu climat mai continental, expuse la mase de aer rece și uscat, prezintă o umiditate relativă mai scăzută în primăvară, favorizând răcirea rapidă a solului și a aerului pe timp de noapte și conducând la temperaturi extreme, cum s-a observat la stațiile Cahul și Ștefan Vodă.

Referitor la relevanța economică, datele statistice indică, între 2007 și 2020, o scădere considerabilă a suprafețelor cultivate cu măr: peste 22% la nivel total și peste 29% în suprafața de rod (tab. 1).

Pe fundalul acestei reduceri teritoriale, se evidențiază o creștere spectaculoasă a productivității: de la 45,2 chintale/ha în 2007 la 180,8 chintale/ha în 2020, ceea ce reprezintă o creștere de aproape 300%. Această evoluție pozitivă poate fi interpretată

ca rezultat al modernizării plantațiilor, al introducerii tehnologiilor avansate de cultivare, al irigației eficiente, precum și al extinderii soiurilor de înaltă performanță, adaptate cerințelor de calitate și rezistență.

Tabelul 1. Dinamica suprafețelor plantațiilor de măr la nivel național pentru perioada anilor 2007 – 2020

Indicator	2007	2020	Media 2007 - 2020	Diferență 2020–2007	Evoluție %
Suprafața totală, ha	33041.0	25667.0	29561.3	- 7374.0	-22.3
Suprafața de rod, ha	30187.0	21407.0	23949.8	-8780.0	-29.1
Roada medie, chintale/ha	45.2	180.8	92.1	+135.6	+299.6

Sursa: statistica.md

Astfel, în ciuda reducerii suprafețelor cultivate, producția de mere a devenit mai intensivă și mai eficientă, reflectând o adaptare inteligentă a fermierilor la noile condiții economice și climatice.

Cunoașterea momentului înfloririi pomilor, corelată cu data înghețurilor tardive, permite estimarea riscului de pierdere a productivității la hectar. Aceste înghețuri devin periculoase atunci când mugurii florali ajung în stadii avansate de dezvoltare, fiind mai sensibili la temperaturi scăzute sub un prag critic.

În perioada analizată, suprapunerea înghețurilor cu fenofazele sensibile ale mărului s-a observat între 1 și 8 cazuri pe an, în funcție de regiune. De exemplu, în 2020, în zone precum Florești și Bălți au fost raportate până la 8 coincidențe între îngheț și etapele vulnerabile de dezvoltare (tab. 2).

Tabelul 2. Durata și intensitatea înghețurilor tardive de primăvară în intervalul fenologic dezmugurire - sfârșitul înfloririi

Stația meteorologică	Anii	Intensitatea înghețurilor (°C)	Durata, cazuri (zile)	Stația meteorologică	Anii	Intensitatea (°C)	Durata Cazuri (zile)
Briceni	2007	-1.7 - -2.0	4(6)	Cahul	2012	-3.4	1(1)
	2015	-0.2 - -3.8	3(6)		2013	-3.2 - -8.2	2(8)
	2016	-1.2 - -3.5	6(13)		2020	-1.3 - -4.9	1(3)
	2020	-0.1 - -6.7	7(16)	Bravicea	2007	-0.3 - -3.0	7(9)

Drochia (Soroca)	2007	-1.1 - -3.3	6(7)		2019	-0.1 - -4.1	5(13)
	2008	-2.7 - -2.8	2(6)		2020	-1.5 - -9.5	5(11)
	2012	-0.3 - -2.4	5(5)	Chișinău	2020	-1.2 - -3.9	3(8)
	2014	-2.0 - -7.1	2(4)	Strășeni (Bravicea)	2007	-0.3 - -3.0	7(9)
	2016	-1.2 - -3.9	2(6)		2019	-0.1 - -4.1	5(13)
	2017	-0.1 - -1.6	5(6)		2020	-1.5 - -9.5	5(11)
Camenca	2007	-0.4 - -1.3	4(5)	Florești (Bălți)	2014	-1.0 - -3.5	2(4)
	2012	-0.5 - -2.1	2(3)		2016	-0.6 - -6.1	6(14)
	2013	-2.9 - -12.0	3(12)		2019	-2.0 - -4.1	4(6)
	2014	-1.3 - -5.6	3(5)		2020	-0.4 - -9.7	8(19)
	2015	-1.6 - -5.4	6(12)				

Sursa: prelucrare autori după datele SHS

Pe baza acestei analize pot fi identificați anii cu frecvență ridicată a înghețurilor cu potențial distructiv, precum 2007, 2008, 2016, 2017, 2019 și 2020, când cultura mărului a fost expusă unui risc major. În alți ani, înghețurile periculoase au avut loc înainte de faza de dezmugurire, astfel încât plantațiile nu au fost afectate direct, evitându-se compromiterea producției.

Datele fenologice au permis elaborarea Tabelului 2, care arată repartiția spațio-temporală a duratei și intensității înghețurilor tardive, subliniind frecvența ridicată a episoadelor în faza de desfacere a mugurilor. În această etapă, de exemplu, în 2014 la stația Camenca s-au înregistrat temperaturi de până la -5,6°C, cu potențial distructiv mare asupra mugurilor în activare fiziologică.

Un alt exemplu este cel al înghețurilor din faza de formare a butonului floral, când în 2010 la Briceni și Orhei temperatura a coborât până la -1,3°C, afectând organele generative în dezvoltare.

Situații deosebit de periculoase s-au înregistrat și în faza de înflorire, cum a fost cazul anilor 2007 și 2012 la Briceni, cu temperaturi de -2,0°C și -0,5°C, afectând fertilizarea florilor și formarea fructelor. Fenomene similare au fost raportate și în 2020 la Bravicea, unde temperatura a scăzut până la -1,6°C în timpul înfloririi.

În concluzie, soiurile de măr cu un început timpuriu al vegetației sunt cele mai expuse riscurilor înghețurilor tardive, fiind surprinse frecvent în fenofaze sensibile (III–VI), când chiar și scăderi scurte de temperatură sub pragurile critice pot afecta semnificativ producția. Impactul real este sintetizat în tabelul 3.

Tabelul 3. Repartiția spațio-temporală a duratei și intensității înghețurilor tardive de primăvară și fazele fenologice cu care s-au suprapus

Stația meteorologică	**Data de manifestare îngheț târziu**	**Intensitate îngheț târziu**	**Faza de dezvoltare la măr**	**Stația meteorologică**	**Data de manifestare îngheț târziu**	**Intensitate îngheț târziu**	**Faza de dezvoltare la măr**
Bravicea	03.05.2007 26.04.2009 20.04.2019 21.04.2020	-0.3 -0.2 -0.1 -1.6	V IV IV V	Briceni	2.05.2007 23.04.2010 18.04.2017	-2 -1.3 -0.3	V IV V
Bălțata (Orhei)	22.04.2007 26.04.2008 27.04.2010	-1.0 -0.3 -1.3	IV IV IV	Soroca (Drochia)	4.05.2007 10.05.2017	-1.4 - -1.2 -0.1	V V
Chișinău	20; 21.04.2017	-0.6	V	Camenca	2.05.2007	-0.4	IV
Comrat (Basarabeasca)	23.04.2009	-1.8	IV	Bălți (Florești)	27.04.2016 21.04.2017 21.04.2020	-0.6 -0.3 -2.0	V IV IV
Cahul	25; 26.03.2016	-3.5	IV	Bravicea (Strășeni)	3.05.2007 26.04.2009 23.04.2010 21.04.2011 20.04.2019 21.04.2020	-0.3 -0.2 -1.3 -0.9 -0.1 -1.6	V V IV IV IV IV

Sursa: prelucrare autori după datele SHS

Impactul negativ al înghețurilor târzii de primăvară asupra mărului depinde în mare măsură de faza fenologică în care se află planta la momentul fenomenului. Începând cu faza de dezmugurire, mugurii devin foarte sensibili la temperaturi sub -1°C, mai ales în sudul țării, unde astfel de valori pot duce la distrugerea completă a mugurilor.

Soiurile cu vegetație și înflorire medii s-au aflat de multe ori în stadii incipiente (fenofazele I–III) în perioada înghețurilor, reducând astfel riscurile. În schimb, soiurile cu înflorire târzie, care au început vegetația după trecerea perioadei de risc, nu au fost afectate și și-au păstrat potențialul productiv.

Datele din Tabelul 3 arată că după 2005, episoadele de îngheț periculos s-au suprapus tot mai des cu fenofazele avansate (IV–V), ceea ce indică o tendință de creștere a intensității și frecvenței acestor fenomene. De exemplu, în mai 2007 s-au înregis-

trat temperaturi între -0,3°C și -2,0°C în plină înflorire, la Briceni, Bravicea și Soroca, compromițând semnificativ recolta. Un caz similar a fost în aprilie 2020, când la Bravicea s-au înregistrat -1,6°C în timpul fertilizării florilor.

În bazinul hidrografic Ialpug, situat în sudul Republicii Moldova, relieful de câmpie joasă favorizează acumularea maselor de aer rece, determinând o frecvență ridicată a înghețurilor în etapele critice de dezvoltare. Cele mai intense episoade s-au produs în fazele de umflare a mugurelui (I), desfacere a mugurelui (II) și formare a butonului floral (IV). Un exemplu este anul 2012, când la stația Cahul temperatura a coborât până la -3,4°C în faza de desfacere a mugurilor, afectând serios recolta soiurilor termofile cultivate în zonă.

De asemenea, în anii 2011, 2013 și 2020, la Cahul s-au înregistrat temperaturi între -3,5°C și -2,3°C în fenofazele I–III, confirmând caracterul recurent al acestor fenomene. Și la Comrat, între 2007 și 2015, au fost episoade de îngheț între -1,1°C și -2,0°C, în special în faza de umflare a mugurelui sau chiar anterior.

În sudul țării, soiurile de măr cu cerințe termice ridicate sunt mai vulnerabile, iar lipsa reliefului fragmentat favorizează stagnarea aerului rece, accentuând riscurile. Spre deosebire de regiunile centrale și nordice, unde dealurile permit dispersia maselor de aer, sudul rămâne expus unui microclimat continental sever.

Pe acest fond, este necesară adaptarea sortimentului pomicol din bazinul Ialpug, promovând soiuri cu înflorire mai târzie și toleranță mai mare la stres termic. Totodată, se recomandă implementarea de sisteme de avertizare timpurie, tehnologii de protecție și o monitorizare fenologică mai atentă.

Acest studiu de caz confirmă că bazinul Ialpug reprezintă un punct critic de vulnerabilitate climatică pentru cultura mărului în Republica Moldova și trebuie inclus prioritar în strategiile de adaptare agroclimatică.

CONCLUZII

Studiul evidențiază că înghețurile târzii de primăvară, prin durata și intensitatea lor variabilă în spațiu și timp, reprezintă un factor major de risc pentru fenologia și productivitatea culturii de măr în Republica Moldova. Deși considerată o specie relativ rezistentă, mărul reacționează sensibil în fazele critice de dezvoltare, cum sunt dezmugurirea, desfacerea mugurelui, formarea butonului floral și înflorirea, mai ales în contextul schimbărilor climatice actuale.

În perioada 2007 - 2020, suprafața plantațiilor de măr a scăzut cu peste 22%, iar suprafața de rod cu 29%. În același timp, productivitatea medie a crescut spectaculos, de la 45,2 chintale/ha la 180,8 chintale/ha, semnalând modernizarea livezilor, utilizarea unor soiuri performante și implementarea tehnologiilor agricole avansate.

Episoadele de îngheț cu impact agricol ridicat au fost înregistrate în anii 2007, 2010, 2012 și 2020, când temperaturile negative au coincis cu fenofaze sensibile precum înflorirea, cauzând pierderi considerabile de recoltă. Regiunile cele mai afectate sunt

cele nordice (Briceni, Bălți, Bălțata - în special în faza de înflorire) și cele sudice (Cahul, Comrat - în fazele timpurii).

În acest context, bazinul hidrografic Ialpug, situat în sudul țării, se conturează ca o zonă cu vulnerabilitate climatică ridicată. Relieful de câmpie joasă și lipsa barierelor naturale favorizează acumularea aerului rece și stagnarea îndelungată a temperaturilor negative în perioade critice. Datele de la stațiile meteorologice Cahul, Comrat și Basarabeasca indică o frecvență crescută a înghețurilor în fazele timpurii ale mărului, cu valori minime de până la -3,4°C (Cahul, 2012), care afectează grav mugurii florali. Această realitate impune adaptarea sortimentului pomicol prin introducerea de soiuri cu înflorire mai tardivă, aplicarea măsurilor agrotehnice de protecție și dezvoltarea unor sisteme locale de avertizare timpurie.

Astfel, monitorizarea atentă a riscurilor climatice și adaptarea tehnologică a livezilor sunt esențiale pentru menținerea durabilă a sectorului pomicol, în special în zonele cele mai expuse, cum este cazul bazinului Ialpug.

REFERINȚE:

1. ACSA (2021). *Bunele practici de creștere a fructelor, strugurilor și pomușoarelor în contextul schimbărilor climatice*. Chișinău.
2. BABUC, I. (2012). *Particularități agrometeorologice și agrotehnice ale culturilor pomicole din Moldova*. Chișinău.
3. BALAN, V. (2021). *Impactul fenomenelor climatice asupra pomiculturii din Republica Moldova*. Chișinău.
4. CHANDLER, W.H. (1960). *Temperature injuries in fruit buds*. Missouri Agricultural Bulletin.
5. Datele din Arhiva Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHS), 2005 - 2020.
6. KONDRATENKO, T.E. et al. (2015). *Phenology of Apple Tree in Kyiv Region under Climate Change*. Horticulture Institute NAAS Ukraine.
7. SAKAI, A. & LARCHER, W. (1987). *Frost Survival of Plants: Responses and Adaptation to Freezing Stress*. Springer.
8. WEST, F.L., & EDLEFSEN, N.E. (1917). *The Freezing of Fruit Buds*. Bulletin No. 151, Utah Agricultural Experiment Station
9. СТРИЖАНЦЕВА, Н. (2017). *Агрометеорология*. Харків.
10. ВЕНЦКЕВИЧ, Г. З. (1952). *Сельскохозяйственная метеорология*. Гидрометеоиздат.

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului: „Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu” (EPMSERM 010801).*

PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII TURISMULUI ECOLOGIC ÎN PARCUL NAȚIONAL ORHEI

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TOURISM IN ORHEI NATIONAL PARK

CZU: 338.48:574(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.57**

Tatiana DUDNICENCO
ORCID: 0000-0003-0484-6372
E-mail: dudnicenco@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Orhei National Park is often associated by tourists with the Orheiul Vechi Museum Complex, which includes all archaeological and historical sites — in fact, these make up the Orheiul Vechi Cultural and Natural Reserve. Our objective was to select and describe an ecotourism itinerary within this park, based on the observation of nature and significant natural landscapes. Orhei National Park, as a whole, falls under the category of national parks, but within its boundaries it includes various types of protected areas (forest nature reserves, landscape reserves, resource reserves, natural monuments), which facilitates the practice of ecotourism. The proposed ecotourism itinerary, consisting of visits to the landscape reserves of Trebujeni, Pohrebeni, and Țigănești, is quite representative for ecotourism activities.*

Keywords: *ecotourism, national park, landscape reserves.*

INTRODUCERE

Turismul ecologic (ecoturismul) este un sector al turismului, bazându-se pe experienţa în natură şi respectarea principiilor durabilităţii. Ecoturismul promovează protejarea ecosistemelor vulnerabile și a speciilor rare de plante și animale, contribuind la conservarea biodiversității și la păstrarea patrimoniului natural. Totodată, această practică permite diversificarea veniturilor în cadrul economiilor locale, fără a afecta activitățile tradiționale, reducând astfel dependența de factorii externi sau interni. Într-o viziune mai amplă, ecoturismul reprezintă o soluție sustenabilă pentru dezvoltarea regiunilor cu resurse naturale valoroase. Prin integrarea peisajelor și a diversității ecologice în activități turistice, se creează o alternativă sigură, care sprijină economia locală și protejează mediul. Promovând un stil de viață sustenabil, ecoturismul echilibrează relația dintre om și natură, oferind beneficii atât comunităților, cât și generațiilor viitoare, care vor putea aprecia frumusețea și autenticitatea acestor zone. În această lucrare am cercetat posibilitatea practicării ecoturismului în cadrul Parcului Național Orhei, care este unul din cele două parcuri naționale aflate pe teritoriul Republicii Moldova. De asemenea, am selectat pentru cercetare acest parc, deoarece el este în apropierea capitalei țării, astfel turiștii ce vin cu vizite de lucru sau alte scopuri în Chișinău, pot practica în zilele de weekend

ecoturismul în acest parc. Scopul cercetărilor a constat în: Evidenţierea perspectivelor dezvoltării turismului ecologic în Parcul Național Orhei.

MATERIAL ȘI METODĂ

În calitate de material al cercetărilor efectuate au servit resursele ecoturistice din Parcul Național Orhei. La realizarea cercetărilor au fost utilizate așa metode ca: comparaţiilor internaţionale, măsurarea, metoda de descriere, fotografică, aprecierea indicatorilor de determinare a resurselor turistice, metoda geografică-cartografică, metoda de comparare, inducţia şi deducţia, analize diagnostice şi de prognozare, excursii, analizei şi sintezei, extrapolării.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Parcul Național Orhei este situat în regiunea centrală a Republicii Moldova, în cadrul Podișului Central Moldovenesc, ocupând o suprafață de 33792,09 hectare. Acesta se întinde pe teritoriul administrativ al raioanelor Orhei, Strășeni, Călărași și Criuleni, incluzând total sau parțial 18 localități: Ghetlova, Morozeni, Neculăieuca, Ivancea, Peresecina, Donici, Telești, Pohorniceni, Puțintei, Trebujeni, Selișteе, Vatici, Codreanca, Românești, Țigănești, Bravicea, Săseni și Mașcăuți [4].

Conform cadrului legal care reglementează ariile naturale protejate din Republica Moldova [3; 5], Parcul Național Orhei este clasificat ca parc național, integrând însă diverse categorii de zone protejate. Scopul principal al acestuia este conservarea și protejarea unor ecosisteme reprezentative pentru biogeografia națională, incluzând elemente de importanță fizico-geografică, floristică, faunistică, hidrologică, geologică, paleontologică și pedologică. Parcul facilitează accesul pentru activități cu caracter științific, educațional, recreativ și turistic.

Ariile naturale protejate de stat din spaţiul Parcului Naţional Orhei sunt: rezervaţiile naturale silvice Cobâleni (33,5 ha), Vâşcăuţi (24 ha); rezervaţiile peisajere Pohrebeni (1049 ha), Trebujeni (500 ha), Ţigănești (680 ha); rezervaţii de resurse – cernoziom levigat gras al zonei silvice centrale din s. Ivancea (4 ha); monumente ale naturii – parcul din satul Ivancea (3 ha) şi 7 arbori seculari, suprafaţă totală fiind de 2293,5 hectare [1].

Deși situat în regiunea centrală a Republicii Moldova, o zonă recunoscută pentru patrimoniul său natural, teritoriul parcului rămâne insuficient explorat din punct de vedere științific. Diversitatea speciilor de floră și faună, varietatea ecosistemelor și peisajele naturale constituie un patrimoniu valoros, cu relevanță națională și europeană.

Deoarece Parcul Național Orhei este asociat de turiști cu Complexul muzeal Orheiul Vechi, care include toate obiectele arheologice şi istorice, inclusiv “Curtea Ţărănească” (sec XIX), acestea constituind Rezervația Culturală Naturală Orheiul Vechi, am selectat un itinerar ecoturistic, bazat pe observarea naturii, peisajelor naturale reprezentative și anume vizitarea celor 3 rezervații peisajere ce se află pe teritoriul Parcului Național Orhei. Astfel, itinerarul nou propus include pe lângă rezervația peisajeră Trebujeni, ce se

află în imediata apropiere a Rezervației Culturale Naturale Orheiul Vechi, v-a mai include rezervațiile peisajere Pohrebeni și Țigănești. Dacă primele două rezervații peisajere se află în limitele teritoriale ale raionului Orhei, atunci rezervația peisajeră Țigănești se află la hotarul cu acest raion, dar deja pe teritoriul raionului Strășeni. Excursia va dura o zi, cu deplasarea cu ajutorul transportului auto până la rezervațiile peisajere, dar pe teritoriul acestora va fi drumeție pe jos.

Descrierea traseului ecoturistic propus: tipul traseului: circular; **tematica excursiei:** ecoturism; d**urata excursiei:** 1 zi. Traseul respectiv poate fi parcurs pe o durată de cca 10 ore, respectiv popasul de prânz pe contul fiecărui ecoturist; **beneficiarii excursiei:** turişti interni, turişti străini, elevi, studenţi, cercetători; **scopul excursiei:** cunoaşterea multiplelor aspecte ale resurselor ecoturistice în Parcul Național Orhei; **obiectivele excursiei:** familiarizarea cu peisajele ariilor protejate luate sub protecția statului, cunoașterea plantelor și animalelor rare, tipurilor de roci existente și cu descoperirile cercetărilor geologice și paleontologice realizate pe teritoriul traseului; c**omplexitatea traseului:** deplasare cu transport de la periferia or. Orhei sau or. Chișinău până la punctele de vizitare, deoarece sunt disperse. Există grad mediu de complexitate pentru vizitarea obiectivelor turistice. Se vor parcurge pe jos cel puțin 2-3 km pe relief de deal şi pe drum de ţară; **vestimentaţie:** nu este necesar echipament special, dar este necesară încălțăminte comodă; **transport:** autocar, minibus, autoturism până la intrarea pe teritoriul ariilor protejate, în rest drumeție pe jos.

Realizarea traseului ecoturistic are o importanță majoră pentru valorificarea ariilor naturale protejate, educația ecologică atât a localnicilor, cât și a vizitatorilor şi pentru asigurarea de venituri şi locuri de muncă prin turism.

Astfel, ***primul punct propus pentru vizitare*** este **Rezervația peisajeră Trebujeni**. Aria protejată este situată între localitățile Trebujeni și Furceni, din raionul Orhei, Republica Moldova, distanța de or. Chișinău: 58 km și timp: 1 oră 15 min. Ea ocupă o suprafață de 500 de hectare și este gestionată de Gospodăria Silvică de Stat Orhei (436 ha) și Primăria Trebujeni (64 ha). Aceasta cuprinde versanți stâncoși ai râului Răut și ai afluenților săi, Draghinici și Ivancea, parțial acoperiți de păduri. Zona include peșteri, grote, fenomene carstice, monumente culturale și peisaje pitorești.

Altitudinal, terenul variază între 20 și 155 de metri. Pădurile, dominate de stejar și amestecuri de foioase, sunt clasificate ca stejărete de productivitate inferioară, dezvoltate pe soluri litice și rendzinice. Relieful carstic, format pe calcare sarmațiene, este marcat de peșteri, pâlnii carstice și cascade. Versanții abrupți ai Răutului, cu înălțimi de peste 100 de metri, adăpostesc ruinele unei mănăstiri medievale rupestre și alte vestigii culturale.

Peisajul este completat de stânci calcaroase cu forme și culori variate, care își schimbă aspectul în funcție de anotimp. Una dintre acestea, denumită Stânca Corbului, servește drept refugiu pentru păsări răpitoare.

Din punct de vedere istoric, zona a găzduit o cetate geto-dacă în secolele V-III î.e.n. și o mănăstire rupestră medievală dedicată „Adormirii Maicii Domnului”. În imediata

vecinătate se află complexul arheologic și istoric Orheiul Vechi, care sporește valoarea turistică a regiunii. Peisajul, combinând stânci, cascade, păduri și vestigii, creează un mediu ideal pentru specii rare de plante și animale, fiind o destinație atractivă pentru vizitatori.

În aria protejată Trebujeni au fost identificate 41 de specii de plante rare, dintre care opt sunt incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova: *Galanthus nivalis*, *Genista tetragona*, *Centaurea thirkei*, *Paronychia cephalotes*, *Sorbus domestica*, *Doronicum hungaricum*, *Fritillaria meleagroides* și *Schivereckia podolica*. Două specii, crinul de pădure (*Lilium martagon)* și șiverichia podoleană (*Schivereckia podolica)*, figurează în Lista Roșie a Europei [2, p. 7].

Diversitatea reliefului, care include stânci, păduri, pajiști, stepe, lunci și cursuri de apă, creează habitate variate ce susțin o faună bogată. Aceste condiții favorizează formarea unor „nișe ecologice" care găzduiesc numeroase specii.

Dintre carnivore, jderul de pădure (*Martes martes*), vidra (*Lutra lutra*) și pisica sălbatică (*Felis silvestris*) sunt vulnerabile și incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova. Căpriorul și mistrețul, deși prezenți, sunt rare din cauza activităților recreaționale intense și a lucrărilor forestiere. Herpetofauna este bine reprezentată, cu 8 specii de reptile și 9 specii de amfibieni. Printre cele mai rare se numără șarpele cu abdomen galben (*Dolichophis caspius*), șarpele de alun (*Coronella austriaca*) și șarpele lui Esculap (*Zamenis longissimus*), toate incluse în Cartea Roșie. De asemenea, zona găzduiește o diversitate mare de insecte și moluște.

Astfel, aria protejată Trebujeni este un spațiu valoros din punct de vedere științific, ecologic, estetic și recreațional, fiind un element esențial al patrimoniului natural național, care necesită protecție și gestionare responsabilă.

Al doilea punct pentru vizitare este **rezervația peisageră Pohrebeni.** Rezervația peisageră Pohrebeni, o arie protejată din raionul Orhei, se află în apropierea satului cu același nume și ocupă o suprafață de 1.049 ha.

Rezervația se încadrează în zona deluroasă cu păduri de cvercete și șleauri de deal, caracterizată prin versanți însoriți sau semiînsoriți, cu înclinare slabă spre moderată. Solurile variază între cenușiu deschis, luto-nisipos, și cenușiu închis, lutos sau luto-argilos, cu productivitate superioară până la mijlocie.

În cadrul rezervației au fost identificate trei tipuri de păduri, toate cu productivitate medie: goruneto-șleau, goruneto-stejăret și stejăret de coastă și platouri.

Diversitatea condițiilor climatice, hidrologice, formele variate de relief, tipurile de sol și alți factori naturali au favorizat dezvoltarea unei flore extrem de bogate și variate. Dintre speciile principale și secundare de arbori și arbuști, se remarcă cele cu valoare pentru conservare, cum ar fi gorunul (*Quercus petraea*), teiul (*Tilia cordata*) și frasinul (*Fraxinus excelsior*), precum și speciile rare, precum sorbul (*Sorbus torminalis*) și clocotișul (*Staphylea pinnata*).

Situl „Pohrebeni" cuprinde o varietate de ecosisteme care creează condiții propice pentru o mare diversitate de specii de floră și faună. Valoarea sa conservativă este

evidențiată de prezența a 12 specii rare de plante și 19 specii de animale protejate prin instrumente naționale și internaționale, dintre care 5 sunt de interes unional. Analiza compoziției floristice și identificarea speciilor rare contribuie la creșterea atractivității acestui sit natural și la dezvoltarea unor strategii eficiente pentru protejarea speciilor rare și a celor incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova.

Al treilea punct pentru vizitare este **rezervația peisageră Țigănești.** Rezervația peisageră Țigănești este o zonă protejată situată între localitățile Bravicea și Săseni din raionul Călărași, Tabăra din raionul Orhei și Țigănești din raionul Strășeni, Republica Moldova. Acoperă o suprafață de 680 ha și este administrată de o întreprindere silvică din regiunea Călărași. În această rezervație, situată pe versanții unui deal care coboară spre valea râului Ichel, cresc stejari seculari, unii având 200-300 de ani și tulpini ce depășesc 1 metru în diametru. În partea inferioară a zonei se găsește Mănăstirea Țigănești, un punct de referință cultural și spiritual.

Rezervația găzduiește 259 de specii de plante vasculare, incluzând 19 specii de arbori, 17 de arbuști și 223 de plante erbacee, majoritatea din încrengătura *Magnoliophyta*, cu câteva specii din *Pteridophyta*. Stratul de arbuști este slab dezvoltat din cauza umbrei dense, dar include specii precum *Staphylea pinnata* (clocotiș), o specie rară protejată.

Stratul erbaceu este divers, reflectând caracteristicile pădurilor de foioase din Codri. Speciile rare, protejate în conformitate cu Cartea Roșie a Republicii Moldova sunt: *Orchis morio* (untul vacii), *Asparagus officinalis* (sparanghel), *Cephalanthera damasonium* (căpșunica), *Cephalanthera longifolia* (buruiana de junghiuri) ș.a. Specii cu protecție internațională includ *Epipactis helleborine*, *Neottia nidus-avis*, *Lilium martagon*, *Tulipa biebersteiniana* și *Staphylea pinnata*.

Fauna rezervației este bogată, cu specii protejate incluse în Cartea Roșie a Republicii Moldova, precum: mamifere – *Felis silvestris* (pisica sălbatică), *Martes martes* (jderul de pădure); reptile – *Coronella austriaca* (șarpele de alun); amfibieni – *Bufo bufo* (broasca râioasă brună), *Hyla arborea* (brotăcelul), *Rana dalmatina* (broasca roșie de pădure); insecte – *Lucanus cervus* (rădașca), *Oryctes nasicornis* (carabanul), *Morimus funereus* (croitorul cenușiu).

Astfel, rezervația peisagistică Țigănești reprezintă un ecosistem forestier valoros, cu o diversitate floristică și faunistică remarcabilă. Protejarea speciilor rare și a habitatelor naturale contribuie la conservarea biodiversității regiunii Codrilor, subliniind importanța managementului durabil al acestei arii protejate.

CONCLUZII

Parcul Național Orhei, prin includerea în componența sa a altor categorii de arii protejate de stat, inclusiv a celor trei rezervații peisajere cercetate personal, prezintă interes științific de importanță internațională în ce privește valoare geomorfologică, hidrologică, structurală și ecologică. Acestea, la rândul lor facilitează practicarea ecoturismului.Realizarea traseelor ecoturistice are o importanță majoră pentru valorificarea ariilor naturale

protejate, educația ecologică atât a localnicilor, cât și a vizitatorilor și pentru asigurarea de venituri și locuri de muncă prin turism. În rezultatul cercetărilor efectuate s-a selectat itinerarul ecoturistic ce include următoarele puncte de vizitare: rezervația peisajeră Trebujeni; rezervația peisajeră Pohrebeni; rezervația peisajeră Țigănești, care sunt destul de reprezentative pentru practicarea ecoturismului. Ecoturismul în Parcul Național Orhei oferă oportunități semnificative de dezvoltare durabilă prin valorificarea patrimoniului natural al regiunii. Practicarea acestuia contribuie la conservarea biodiversității și la implicarea comunităților locale în activități turistice responsabile.

REFERINȚE:

1. Analele Naturii. (Ministerul Mediului, Agenția „Moldsilva", Parcul Național Orhei); grupul de lucru: Boaghie D. (coordonator) ș.a. Chișinău: Impressum, 2023. 168 p.
2. CERTAN, Corina. Plantele rare din rezervaţia peisagistică „Trebujeni". În: *Rezumatele. Conferinţa Internaţională a Tinerilor Cercetători*. Chişinău, Moldova, 11 noiembrie, 2005, p. 7.
3. Legea privind fondul ariilor naturale protejate de stat, nr.1538 din 25. 02. 1998. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, 1998, nr.66-68 din 16.07.1998.
4. https://pno.md – Parcul Național Orhei (citat 29.06.2025).
5. https://www.legis.md/ – Legislaţia Republicii Moldova (citat 27.06.2025).

ANALIZA DINAMICII POPULAȚIILOR DE CERVIDE DIN REZERVAȚIA NATURALĂ „CODRII”

ANALYSIS OF CERVIDS POPULATION DYNAMICS IN THE “CODRII” NATURE RESERVE

CZU: 599.735.3:502.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.58**

Teodor GLAVAN-CARANGHEL
ORCID: 0009-0004-5496-2288
E-mail: teodor.glavan.caranghel@sti.usm.md
Rezervația „Codrii”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Ștefan MANIC
ORCID: 0009-0008-7402-2081
E-mail: stefan.manic@gmail.com
Rezervația „Codrii”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victoria NISTREANU
ORCID: 0000-0002-9726-9684
E-mail: victoria.nistreanu@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor SÎTNIC
ORCID: 0000-0002-0449-1527
E-mail: victor.sitnic@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Anatolie SAVIN
ORCID: 0009-0004-6933-4196
E-mail: anatolie.savin@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study investigates the population dynamics of cervids within the “Codrii” Natural Reserve, Republic of Moldova, spanning the period 1975-2024. Influenced by biotic and abiotic factors, wild animal populations, including cervids, undergo significant changes in natural and anthropized ecosystems. The research focused on Red Deer (Cervus elaphus), Sika Deer (Cervus nippon), and Roe Deer (Capreolus capreolus). Methods included systematic field observations, track recording, and modern techniques like camera traps and drone surveys. Historical data from the Reserve's “Nature Annals” were integrated and statistically analyzed. Results show notable fluctuations of cervids during the years the optimal density for the reserve being estimated at 23-25 individuals/1000 ha, a figure currently vastly surpassed by Sika Deer. The study also*

highlights health issues, including high parasite loads and increasing road accidents due to overpopulation. Critically, hybridization between Red Deer and Sika Deer poses a severe threat to the genetic integrity of native populations. Recommendations include selective culling of hybrids and Sika Deer, potential reintroduction of Carpathian Red Deer, and habitat management strategies to restore optimal population structures.

Keywords: *cervids, deer, population dynamics, hybridization, "Codrii" Nature Reserve.*

INTRODUCERE

Schimbările continue din ecosistemele naturale și antropizate, influențate de factori biotici și abiotici, au un impact semnificativ asupra structurii și funcționării lumii animale. Aceste influențe determină modificări ale diversității biologice, structurii comunităților faunistice și ale efectivelor multor specii de mamifere, inclusiv ale cervidelor. În acest context, înțelegerea dinamicii populaționale a cervidelor devine esențială pentru strategiile de conservare și management.

Speciile de cervide din Rezervația Naturală „Codrii". Cerbul comun (*Cervus elaphus*) (Fig. 1) este o specie aclimatizată, cu un genotip variat, având la bază subspecia *Maralul de Askania*. *C. elaphus* a fost introdus în două etape: în prima etapă (1954-1961) a fost introdusă subspecia *Maralul de Askania* și în etapa a doua (1978-1980) - cerbul european, adus în rezervație, în anii 70 ai sec. XX [10, 11]. Cerbul cu pete (*Cervus nippon*) a fost introdus în zona Codrilor centrali între anii 1959-1960, când au fost eliberate cca 73 de exemplare în sectoarele silvice Căpriana și Sadova. Spre sfârșitul anilor 70 ai sec. XX, efectivul speciei alcătuia cca 200 indivizi. Căpriorul (*Capreolus capreolus*), reprezintă o specie nativă, comună în rezervație, a cărui efectiv actual este în creștere. De-a lungul timpului, efectivul populației a înregistrat anumite fluctuații numerice, cu valori cuprinse între 90 și 280 indivizi.



Figura 1. Cerb comun în sectorul silvic nr. 2 al Rezervației Naturale „Codrii".

Cervidele, prin rolul lor ecologic și statutul de specii cheie în multe ecosisteme forestiere, sunt indicatori importanți ai sănătății mediului. Studiul de față își propune să elucideze dinamica efectivelor speciilor de cervide din Rezervația Naturală „Codrii" pe o perioadă extinsă, 1975-2024. Cercetarea abordează aspecte fundamentale precum istoricul aclimatizării speciilor, evoluția efectivelor numerice, structura populațiilor și evaluarea efectivului optim necesar pentru suprafața rezervației. De asemenea, studiul investighează starea de sănătate a populațiilor și face referire la potențiale fenomene de hibridizare între speciile de cerbi, fenomene cu implicații genetice și ecologice profunde. Pe baza acestor analize, sunt formulate propuneri concrete de măsuri pentru îmbunătățirea stării populațiilor de cervide și recomandări de ameliorare a genofondului și structurii acestora pe teritoriul rezervației.

MATERIALE ȘI METODE

Programul de cercetare a îmbinat studii teoretice bazate pe analiza datelor istorice din „Analele Naturii" Rezervației „Codrii" [2], cu observații practice și evaluări de teren realizate în ultimii ani. Scopul a fost de a obține o imagine completă asupra dinamicii multianuale a populațiilor de cervide și a stării lor actuale. Studiul s-a axat pe speciile de mamifere din familia *Cervidae* prezente în Rezervația Naturală „Codrii": cerbul comun, cerbul cu pete și căprioru. Aprecierea efectivului numeric al populațiilor a fost realizată sistematic, adaptată aspectelor fenologice ale speciilor. Estimările au fost efectuate predominant iarna (decembrie-februarie), pe itinerare prestabilite. Aceasta a implicat înregistrarea urmelor pe substrat (zăpadă), a defecărilor și a altor semne de prezență a indivizilor. Pe lângă metodele tradiționale, au fost integrate și tehnologii moderne de monitorizare precum capcanele foto (*camera traps*) și evidența aeriană cu drone (metoda a fost utilizată în perioada de iarnă, când animalele se grupează, facilitând o acoperire mai largă și o vizibilitate sporită). Alte metode utilizate pentru evaluarea densității speciilor de mamifere au inclus metoda observațiilor directe și indirecte care ține atât de observații vizuale cât și de înregistrare indirectă a prezenței animalelor prin semnale acustice (boncănit, strigăte), urme, culcușuri, cuiburi și excremente. Toate datele istorice din „Analele Naturii" Rezervației „Codrii" (1975-2024) au fost integrate cu informațiile obținute prin observațiile și evaluările de teren din ultimii ani. Procesarea și analiza statistică a datelor au fost realizate utilizând programul *Microsoft Excel*.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Dinamica multianuală a efectivelor de cervide în rezervație. Date asupra structurii, dinamicii efectivelor de mamifere paricopitate, inclusiv a cervidelor din zona Codrilor Centrali se regăsesc într-o serie de publicații anterioare [6, 7, 8, 9]. Conform datelor dinamicii multianuale a efectivelor de cervide în Rezervația „Codrii" [2], populația cerbului comun a înregistrat, de-a lungul unei perioade îndelungate de

timp, anumite fluctuații numerice. Astfel, în anii 70 ai sec. XX efectivul speciei a fost în creștere numerică (între 80-130 indivizi), tendința menținându-se și în anii 80 (cca 130-180 indivizi). Perioada ulterioară (anii 1990-1997), s-a caracterizat printr-o reducere severă a efectivului (80-35 indivizi), cauzat de reglarea selectivă realizată în populațiile de cervide din rezervație. În anii următori și până în prezent nu s-au înregistrat variații semnificative, numărul de animale menținându-se între 35-60 indivizi. În ce privește efectivul numeric al cerbului cu pete, în primii ani de la introducere (anii 70 ai sec. XX), s-a înregistrat o creștere relativă, ca ulterior, în perioada anilor 80, să-și mărească efectivul până la cca 60 - 170 indivizi. La începutul anilor 90, când s-a efectuat vânătoarea de selecție în cadrul populației au fost înregistrați cca 50-90 indivizi. Între anii 2000-2015, efectivul speciei a cunoscut un spor ușor, iar începând cu anul 2017 au fost înregistrate creșteri semnificative, ajungând în prezent la cca 500 de indivizi (doar pe sectorul nr. 1 al rezervației). Aceste valori sunt mult peste nivelul optim al densității speciei în rezervație și sunt cauzate în principal de lipsa vânătorii de selecție din ultimii 25 de ani. Populația de căprior, în anii 70-80 ai sec. XX s-a aflat în creștere numerică, între 90-140 indivizi, după care, în perioada anilor 1980-1990, tendința de sporire a efectivului s-a menținut, înregistrându-se cca 170-240 indivizi. Între anii 1996-2013, populația de căprior a înregistrat o reducere drastică a efectivului (cca 60-90 de indivizi), urmare a vânătorii de selecție, dar și a altor factori (boli, braconaj ș.a.). Din anul 2017 și până în prezent, efectivul populației speciei a crescut mult, înregistrându-se cca 130-280 indivizi, explicația fiind lipsa reglării selective în populație (Fig. 2).

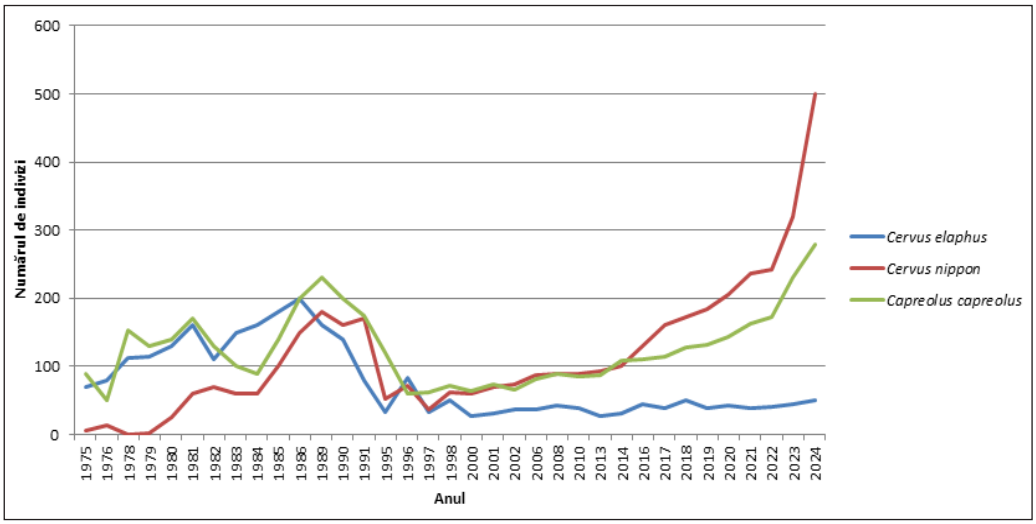


Figura 2. Dinamica multianuală a efectivelor de cervide în Rezervația Naturală „Codrii” (anii 1975-2024)
Structura genotipică, spațială și socială a populațiilor de cerbi în Rezervația „Codrii”.

La începutul anilor 80 ai sec. XX, populațiile speciilor de cerbi introduse în fauna Rezervației Codrii enumerau cca 350 de indivizi. Inițial predomina numeric Maralul de Askania, ca mai apoi, cerbul cu pete să devină mai frecvent, cu o abundență relativă de 53%. Deși din populația speciei se extrăgeau mai mulți specimeni prin vânătoare, braconaj, mortalitate, totuși, efectivul cerbului cu pete se menținea numeros, fapt datorat ecologiei speciei, a preferințelor trofice, de habitat, plasticității ecologice etc. Indicele de reproducere a cerbului cu pete de asemenea prezenta valori mai mari (13,5% juv. față de 9,4% în populația Maralului de Askania). Pe parcursul anului 1995 efectivul de cerbi ce popula teritoriul rezervației era de cca 86 indivizi (34 de cerb comuni și 52 ind. de cerb cu pete). Sectorul silvic nr. I al rezervației era populat simpatric de ambele specii (26 ind. de cerb comun și 28 ind. cerb cu pete). Densitatea speciilor pe sectorul II era de 12.9 ex. /1000 ha, iar pe primul sector – 20.7 ex./1000 ha, ultimul, fiind populat mai frecvent de cerbul cu pete. În sectorul I, cu o populație mai densă a cerbilor, s-au localizat 6 grupuri de cerbi (4 – de cerb de Askania și 2 – de cerb cu pete). În sectorul II au fost identificate 4 grupuri: 1 grup – cerb de Askania și 3 – cerb cu pete, ce populau simpatric parcelele nr. 10-16, 20-22, 27-28. În aceste zone au fost întâlniți frecvent indivizi cu caractere de hibrizi, identificați și determinați în timpul vânătorii de selecție din anii precedenți. Grupările ambilor specii de cerbi variau între 7-14 indivizi, mai numeroase fiind la cerbul cu pete. În grupările respective dominau femelele (1 mascul la 5 femele), raport nefavorabil pentru reproducerea populațiilor și în cazul simpatriei speciilor favorizând hibridizarea interspecifică. Indivizii tineri în populații erau de 9% la cerbul de Askania și 13.65% la cerbul cu pete, valori confirmate și de observațiile pe trasee. Densitatea speciilor de cerbi în acel moment pe teritoriul rezervației era scăzută (6.5 ex. /1000 ha).

Din anul 2021 și până în prezent procesul sporirii numerice a populației speciei cerbului cu pete a contribuit la o creștere de cca 108 ex./1000 ha cee ace este mult peste valorile optime ale densității cervidelor în rezervație. În gospodăriile de vânătoare din Europa, unde cerbii sunt hrăniți suplimentar, densitatea cerbilor ajunge la cca 42-48 ex./1000 ha. Fără hrană suplimentară cu o bază trofică bună valorile de 23-25 ex./1000 ha sunt considerate optime. Începând cu anul 2014 (odată cu interzicerea reglării numerice în rezervație a mistrețului), în ultimii 10 ani, numărul de indivizi ai speciilor de cerbi a crescut cu mult, de la 132 indivizi (100 ind. de cerb cu pete+32 ind. de cerb comun) la peste 500 indivizi (500 ind. de cerb cu pete+60 ind. de cerb comun). Răspândirea speciilor de cervide pe teritoriul Rezervației Codrii în perioada 2023-2024 este prezentată în Fig. 3.

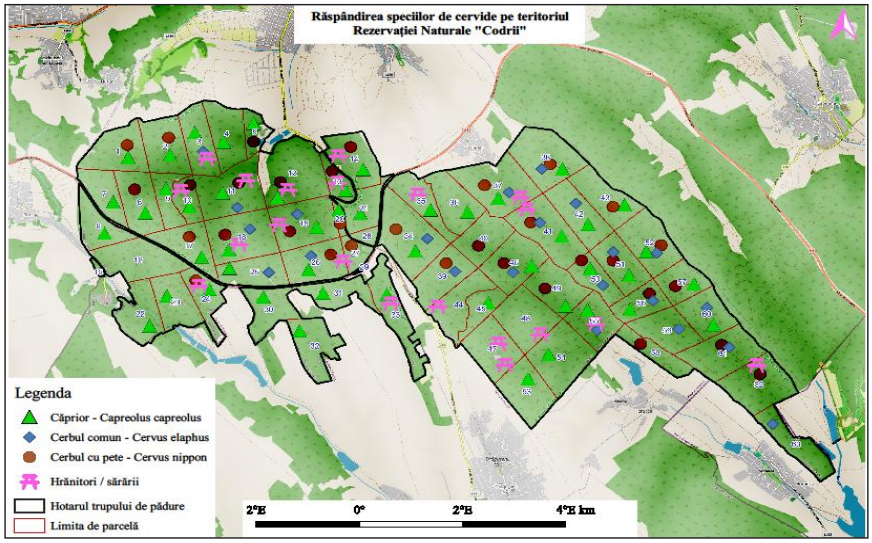


Figura 3. Distribuția speciilor de cervide pe teritoriul Rezervației „Codrii”, perioada 2023-2024

Structura de grup în rezervație este exprimată, mai cu seamă, în perioada de iarnă. Grupurile mari, compuse din femele cu viței, sulițari și masculi tineri, formate după terminarea perioadei de boncănit din octombrie-noiembrie, se destramă în martie-aprilie. Numărul maxim de animale ce compun astfel de grupuri a fost de 27 indivizi (1980), de regulă 8-20 indivizi. Componența acestor grupuri este instabilă, unele grupuri mai mici se pot separa, ca mai apoi sa revină din nou etc. Masculii adulți pe timp de iarnă se țin separat și nu formează concentrări mari de animale. În lunile de vară pot fi întâlnite perechi, indivizi singuratici și grupuri mici a câte 3-5 indivizi.

Starea de sănătate și nivelul de hibridizare în cadrul efectivului de cervide. Sporirea excesivă a efectivelor de cervide din zona centrală a Codrilor Centrali, inclusiv în Rezervația Naturală „Codrii”, poate provoca apariția de situații epizootice periculoase în zonă. Este necesar de luat toate măsurile necesare în vederea evitării apariției focarelor cu risc de răspândire a bolilor contagioase. Ca și în cazul altor specii de cervide, cerbul cu pete este o posibilă sursă de tuberculoză bovină. De asemenea această specie are un rol în epidemiologia nematodei *Asworthius sidemi,* afectând alte specii de mamifere [3, 4].

Un alt aspect îl reprezintă creșterea numărului de accidentări, cauzate de sporirea numărului de autovehicule, ce traversează zilnic rezervația pe traseul Chișinău - Vama Leușeni-Albița. În ultimii ani coliziunea dintre animale sălbatice și vehicule este în creștere, iar sporirea densității numerice a speciilor de cervide din rezervație poartă un risc real la adresa siguranței rutiere din zonă.

În context global și european, o amenințare serioasă pentru cerbul comun nativ ar putea proveni din hibridizarea cu cerbul cu pete [1, 5]. Hibrizii cu cerbul comun nativ

sunt fertili și amenință integritatea genetică a speciilor native. Cerbul cu pete este adesea raportat a fi concurent mai bun decât speciile de cerbi nativi [5].

Recomandări de ameliorare a genofondului și structurii populației de cerbi în rezervație. Conviețuirea în ecosistemele silvice ale rezervației „Codrii" a două specii de cerbi, care dau urmași fertili și concurează pentru nișa trofică, prezintă un pericol pentru reaclimatizarea cu succes și existența de mai departe a speciei aborigene de cerb comun și nu corespunde sarcinilor funcționale a unei arii protejate. Având în vedere starea actuală a efectivului de cerbi din rezervație, ce include indivizi ai Maralului de Askania, ai cerbului cu pete, posibil și un număr neînsemnat de indivizi ai cerbului comun carpatin, la fel și hibrizii apăruți urmare a încrucișării între aceștia și urmărind revenirea la populația de cerb comun carpatin se propune acțiunea de rezolvare a situației create în 2 etape : 1. Reglarea fondului genetic al cerbilor prin eliminarea deplină a hibrizilor și excluderea definitivă de pe teritoriul rezervației a cerbului cu pete; 2. Restabilirea treptată a fondului genetic a cerbului comun prin aducerea unui număr de masculi a speciei date pentru ameliorarea raportului de sex.

CONCLUZII

1. În urma studiului efectuat se constată necesitatea implementării unor măsuri de gestionare a populațiilor de cervide din Rezervația "Codrii".
2. Cerbul comun (Maralul de Askania) a cunoscut fluctuații, menținându-se la un nivel redus după perioade de selecție, cerbul cu pete în schimb a înregistrat o creștere numerică explozivă, ajungând la o densitate mult peste nivelul optim.
3. Suprapopularea rezervației cu specii de cervide generează multiple probleme, de la competiția acută pentru resurse până la presiunea ecologică asupra habitatului.
4. Densitățile ridicate de cervide cresc vulnerabilitatea la boli, cu potențiale implicații sanitare pentru animalele domestice și chiar pentru om.

REFERINȚE:

1. ALEKSANDRA BIEDRZYCKA, WOJCIECH SOLARZ, HENRYK OKARMA. Hybridization between native and introduced species of deer in Eastern Europe Get access Arrow. Journal of Mammalogy, Volume 93, Issue 5, 19 October 2012, Pages 1331–1341, https://doi.org/10.1644/11-MAMM-A-022.1.
2. Analele Naturii. Rezervația „Codrii", Lozova, 1975-2024.
3. BÖHM et al. 2007. Wild deer as a source of infection for livestock and humans in the UK. The Veterinary Journal, Volume 174, Issue 2, September 2007, Pages 260-276.
4. DRÓŻDŻ, J., DEMIASZKIEWICZ, A.W. & LACHOWICZ, J. Expansion of the Asiatic parasite Ashworthius sidemi (Nematoda, Trichostrongylidae) in wild ruminants in Polish territory. Parasitol Res 89, 94–97 (2003). https://doi.org/10.1007/s00436-002-0675-7

5. GLĂVAN-CARANGHEL, TEODOR, NISTREANU, VICTORIA, SÎTNIC, VICTOR. Population dynamics of red and sika deer from the "Codrii" reserve, Moldova. In: Natural sciences in the dialogue of generations, Ed. 7, 12-13 septembrie 2024, Chișinău. Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic al Universității de Stat din Moldova, 2024, Ediția 7, p. 56. ISBN 978-9975-62-756-6.
6. JARDAN., NATALIA. Impactul suprapopulării excesive a cervidelor asupra arboretelor aflate în curs de regenerare. Conferința științifico-practică internațională Instruire prin cercetare pentru o societate prosperă. Ediția a 12-a., 1-2 martie 2025, Vol. I, Științe ale Naturii, Chișinău, 2025. CZU: 502.75:636.294, DOI: 10.46727/C.V.1.01-02-03-2025.P.262-268.
7. MUNTEANU A., SAVIN A. Problema cerbilor în Moldova și căile de ameliorare a ei. În Rezumatele lucrărilor Simpozionului jubiliar Rezervația Naturală Codrii – 25 de ani. Realizări, probleme, perspective. Lozova, 1996, pp.46-47.
8. MUNTEANU A., ȚURCANU I. Structura și dinamica populației de cerb nobil (Cervus elaphus L.) în rezervația științifică "Plaiul Fagului". Buletinul științific al Muzeului Național de Etnografie și Istorie Naturală a Moldovei, Volumul 4 (17), pp. 126-130.
9. SAVIN A., CAISÎN V., CHIRIȚĂ G. Dinamica efectivelor și activității copitatelor în ecosistemele forestiere a R. Moldova. În: Conservarea diversității biologice - o șansă pentru remedierea ecositemelor. Simpozion științific internațional, consacrat aniversării a 50 ani de la fondarea Rezervației Codrii. Lozova, 2021, pp.342-343.
10. УСПЕНСКИЙ Г.А., ФЕНОГЕНОВ А.В. Итоги и перспективы реакклиматизации и акклиматизации оленей в Молдавии. В кн.: Экология копытных. М.: Издатель АН СССР, 1979.
11. ЧЕГОРКА П. К Экологии копатных. В: Природа заповедника Кодры. Штиинца, 1984, стр. 75-87.

EVALUAREA VARIAȚIEI CURGERII DE APĂ A RÂULUI LUNGA ÎN CONDIȚIILE SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ACTUALE

EVALUATION OF THE VARIATION OF THE LUNGA RIVER FLOW UNDER THE CONDITIONS OF ACTUAL CLIMATE CHANGE

CZU: 556.16:551.583(478:282) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.59**

Ana JELEAPOV
ORCID: 0000-0002-2210-7621
E-mail: anajeleapov@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *In the southern region of the Republic of Moldova, hydrological stations on small rivers are practically absent. Many of them were closed 8-17 years ago. In order to increase hydrological knowledge of the region, reconstruction of time series is important to perform. In this regard, the Lunga river flow was considered for analysis, flow times series reconstruction and evaluation. Main utilized methods are time series statistical analysis, reconstruction and comparison recommended by national normative documents. Monitoring of the Lunga river was performs in the Ceadâr-Lunga city from 1976 till 2013, by State Hydrometeorological Service of the Republic of Moldova. Average hydrological characteristics for the monitored period are: average flow is about 0,13 m3/s, runoff is 11 mm, volume is 4,1 mil.m3. Main water resources are formed in spring season, about 1/3. About 25% of water volume is generated in summer and winter, and 19% – in autumn. Reconstruction of river flow was performed from 1950 to 1975 and from 2014 till 2022. Obtained flow results for 1950-2022 do not differ much from those monitored, however the comparison of average flow for 1960-1990 and 1991-2022 show a reduction of average flow by 46%, winter flow by 48%, spring flow by 59%, summer flow by 40% and autumn flow by 26,3%.*

Keywords: *water flow, Lunga, reconstruction, climate change.*

INTRODUCERE

Regiunea de Sud (RS) a Republicii Moldova este cea mai vulnerabilă regiune a țării în fața schimbărilor climatice [1]. Una din consecințele acestui fenomen este reducerea curgerii de apă și, ca urmare, creșterea necesarului în asigurarea economiei și populației cu această resursă de valoare. Conform ultimului studiu, către sfârșitul secolului conform scenariului celui mai blând reducea curgerii de apă va fie de circa 1/3 iar celui mai sever circa 81% [2]. Impactul schimbărilor climatice actuale deja arată o micșorare a volumelor de apă ale râurilor mici. Curgerea de apă a râului Ialpug s-a diminuat cu circa 50% pentru anii 1990-2016 comparativ cu cea pentru 1962-1989 [3]. În limitele RS, posturile hidrologice ce ar monitoriza debitul de apă a râurilor mici și medii sunt practic absente, multe fiind închise în ultimele decenii [4, 5]. Râul Lunga este unul din cele râuri care au

fost supuse observațiilor instrumentale, perioada de monitorizare fiind 1976-2013 [5]. În acest context, prezenta cercetare are drept scop analiza variației curgerii de apă a râului Lunga în contextul schimbărilor climatice actuale. Obiectivele cercetării sunt: analiza caracteristicilor hidrologice ale râului Lunga pentru perioada de observații instrumentale, restabilirea șirului de date hidrologice pentru 1950-2022, evaluarea variației debitelor anuale, lunare și anotimpuale în contextul schimbărilor climatice actuale.

MATERIAL ȘI METODĂ

Râul Lunga este afluent de stânga a râului Ialpug (situat partea inferioară a Dunării), și curge în parte de sud a Republicii Moldova. Lungimea râului este de 81,4 km, sinuozitatea 1,23, căderea 187 m, iar suprafața bazinului hidrografic este de 1054 km^2 [1]. Lungimea totală a rețelei hidrografice este de circa 821 km, densitate acesteia fiind de 0,74 km/km^2. Majoritatea râurilor sunt de curgere intermitentă, fiind secate în perioada caldă a anului. Principalii afluenți sunt Lunguța, Baurci, Taraclia. Relieful bazinului hidrografic este reprezentat de o câmpie deluroasă, de până la 230 m. [6], media altitudinală fiind de 126 m, panta bazinului – 3,22°. Terenul arabil ocupă circa 70% din suprafața bazinului, pădurilor le revine circa 7%, pășunilor – 11,5%, plantațiilor multianuale – 3,5%, localităților 6,3%.

Observații instrumentale asupra caracteristicilor hidrologice ale râului Lunga au fost efectuate în perioada anilor 1940-1958 la postul Taraclia, fiind monitorizat nivelul apei și 1976-2013 la postul Ceadâr-Lunga – fiind evaluat nivelul dar și debitul apei. Serviciul Hidrometeorologic de Stat (SHS) este responsabil de monitoringul hidrologic. Informația hidrologică se păstrează în cadrul Cadastrului de Stat al Apelor [5]. Caracteristicele hidrologice, analizate în cadrul prezentei cercetări, sunt debitul de apă, debitul specific, stratul și volumul scurgerii de apă. Restabilirea șirului de date pentru râul Lunga a fost efectuată pentru perioada 1950-1975 și 2014-2022, în baza metodologiei recomandate de documentul normativ național pentru determinarea caracteristicilor hidrologice [7] și a datelor de monitoring a râului Cogâlnic [5] dar și a șirului de date a râului Salcia Mare restabilit pentru perioada 1950-2022.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Caracteristicele hidrologice ale râului Lunga, evaluate în baza datelor de monitoring [5] sunt: debitul mediu - 0,13 m^3/s, debitul specific – 0,35 l/s km^2, stratul scurgerii - 11,1 mm, volumul 4,1 mil.m^3. Cele mai mari valori anuale au fost observate în anii 1977-1980, 1984-1988, 1993 volumul de apă depășind 5,5 mil.m^3, stratul scurgerii - 15 mm, iar debitul de apă - 0,15 m^3/s. Iar cele mai mici valori au fost observate în anii 2006-2013, când debitul de apă a fost sub de 0,06 m^3/s, volumul apei - 2 mil.m^3, stratul scurgerii - 5 mm (fig. 1). Tendința caracteristicilor hidrologice se caracterizează printr-o accentuată scădere, diminuarea fiind clar vizibilă din anii ´80 ai secolului trecut către primul deceniu al secolului prezent.

Hidrograful debitelor lunare arată o distribuție tipică: cele mai mari debite sunt specifice pentru perioada trecerii apelor mari de primăvară: lunile februarie, martie, aprilie, și viiturilor pluviale: mai, iunie, iulie. Debite lunare maxime sunt observate în luna martie - 0,19 m3/s, aprilie și iunie – 0,16 m3/s. Cele mai mici debite lunare sunt specifice pentru perioada etiajului de vară – toamnă, debitele fiind de 0,09 m3/s în luna septembrie, 0,10 m3/s în luna octombrie.

Hidrograful debitelor lunare maxime repetă configurația celui al debitelor medii. Maximele lunare sunt evaluate pentru lunile martie – 1,03 m^3/s, februarie și aprilie – 0,71-0,76 m^3/s, iunie – 0,60 m^3/s. Valori maxime medii de circa 0,2-0,3 m^3/s sunt specifice pentru august – noiembrie.

Debitele medii minime lunare nu diferențiază mult pe parcursul anului, media este de 0,035-0,04 m^3/s pentru majoritatea lunilor, și doar pentru ianuarie această valoare scade la 0,025 m^3/s iar pentru februarie la 0,011 m^3/s.

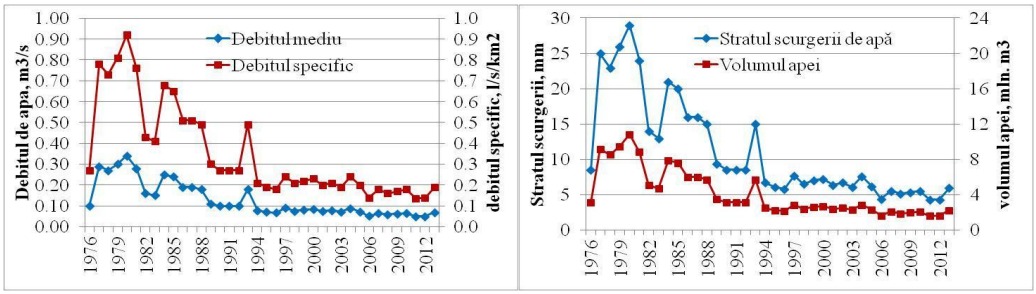


Figura 1. Variația caracteristicilor hidrologice ale râului Lunga, post Ceadâr-Lunga (construit în baza. [5])

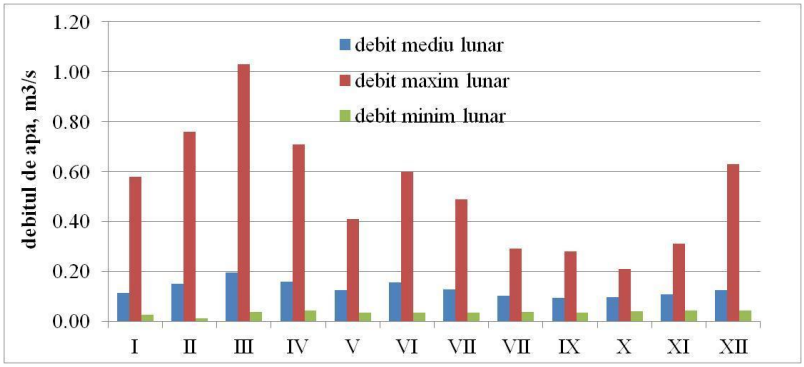


Figura 2. Debitul lunar mediu, minim și maxim de apă a r. Lunga, Ceadâr-Lunga (construit în baza [5])

Restabilirea șirului de date a debitelor medii a râului Lunga a fost efectuată în baza corelării acestuia cu cele ale râurilor din nemijlocita apropiere și a celor a cărui curgere se formează în condiții geografice similare, conform documentului normativ național

[7]. În acest sens, au fost luate în considerare datele hidrologice prezente pentru râurile Salcia Mare, Cogâlnic și Botna. Corelarea șirurilor de date a arătat coeficienți de corelare de 0,25 pentru setul de date Lunga – Botna, 0,46 pentru setul de date Lunga – Cogâlnic și 0,68 pentru setul de date Lunga – Salcia Mare. Din aceste valori, reiese că cel mai potrivit râu pentru efectuarea restabilirii șirului de date hidrologice a râului Lunga este Salcia Mare. Cu toate acestea, perioada de monitorizare a râului Salcia Mare este de 1977-2008, sau mai scurtă decât cea a râului Lunga. Pentru a realiza obiectivul cercetării, inițial a fost efectuată restabilirea șirului de date a râului Salcia Mare în baza datelor râului Cogâlnic și Botna conform principiilor și recomandărilor expuse în cadrul documentului normativ național [7] și ulterior a fost efectuată reconstrucția datelor râului pilot pentru perioada 1950-2022. În cadrul figurii de mai jos, sunt prezentatele debitele măsurate ale râului Lunga și restabilite în baza datelor râurilor Salcia Mare și Cogâlnic. După cum se poate observa, pentru perioada de monitorizare, debitele măsurate și cele modelate sunt apropiate ca valori. Restabilirea șirului de date pentru perioada 1950-2022 a permis evidențierea faptului că valorile caracteristicilor hidrologice monitorizate și cele modelate nu diferențiază mult. Debitul mediu de apă modelat este de 0,13 m^3/s, stratul scurgerii – 10,5 mm, volumul apei – 3,9 $mil.m^3$. Valorile debitelor medii lunare dar și anotimpuale măsurate și cele modelate, de asemenea, nu diferă semnificativ (fig. 4, 5). Valori puțin mai mici a debitelor lunare modelate decât cele observate sunt identificate pentru majoritatea lunilor cu excepția lunii ianuarie, martie și iulie.

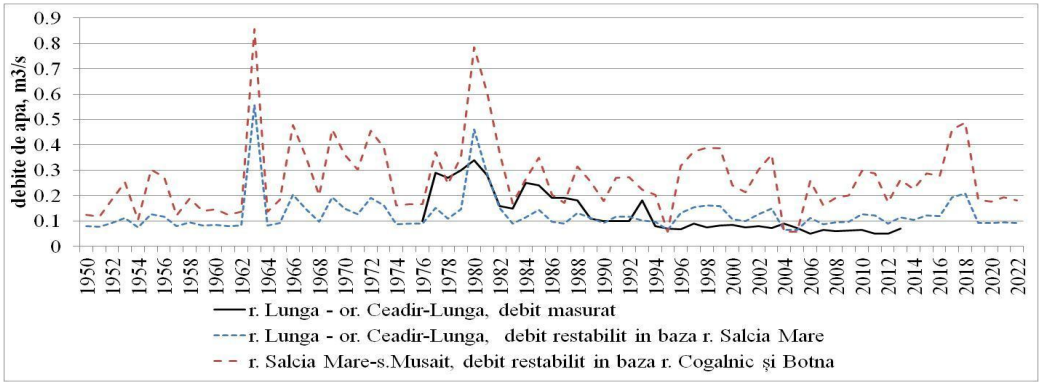


Figura 3. Debitul de apă a râului Lunga natural și reconstruit, post Ceadâr-Lunga

Analiza debitelor de apă pentru perioadele distincte 1960-1990 și 1991-2022, arată o reducere semnificativă a caracteristicilor hidrologice, cauza principală fiind schimbarea climei. Debitul mediu anual pentru cele două perioade este de 0,16 m^3/s și 0,09 m^3/s, de stratul scurgerii 14mm și 7,5 mm, volumul apei 5,2 $mil.m^3$ și 2,8 $mil.m^3$. Micșorarea caracteristicilor hidrologice pentru 1991-2022 este de 46,2% comparativ cu media pentru 1960-1990. Analiza variației curgerii de apă lunare pentru cele două perioade arată reducerea valorilor pentru toate lunile cu circa 20-70%. Cele mai mici diminuări ale curgerii de apă sunt specifice lunilor august – noiembrie, circa 20-30%. Micșorări sem-

nificative sunt înregistrate pentru februarie – aprilie, 55%, 70%, 56%. În celelalte luni, reducerea resurselor de apă este de 40-45%. Pe anotimpuri, diminuarea curgerii de apă este de circa 48% pentru iarnă, 59% pentru primăvară, 40% pentru vară, 26% pentru toamnă **(**fig. 5). Mari diferențieri cu privire la repartiția anotimpuală a resurselor de apă nu se observă pentru toate perioadele analizate Circa 30% din curgerea apei se formează primăvara, câte 25% - iarna și vara și 20% - toamna. Diferențieri de observă pentru curgerea de toamnă și primăvară pentru 1960-1990 și 1991-2022. Pentru perioada actuală, scade ponderea curgerii formate primăvara, și crește cea formată toamna cu 8% (fig. 6).

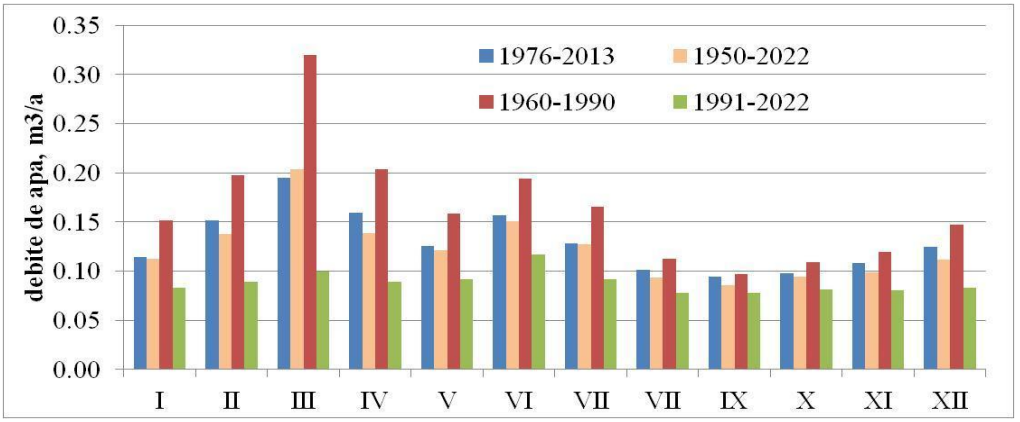


Figura 4. Debitul lunar de apă a râului Lunga natural și reconstruit, post Ceadâr-Lunga

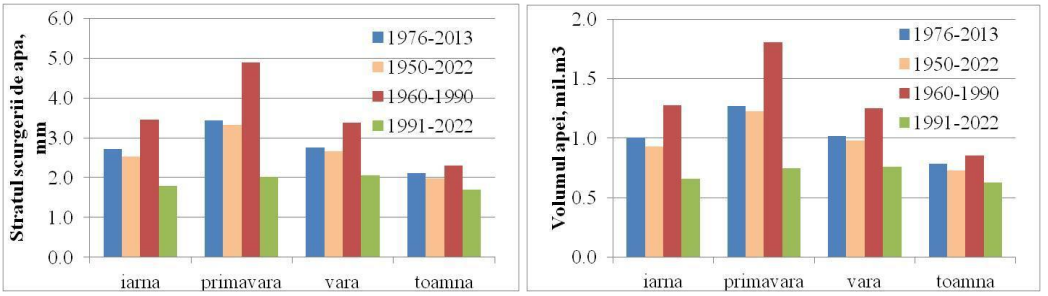
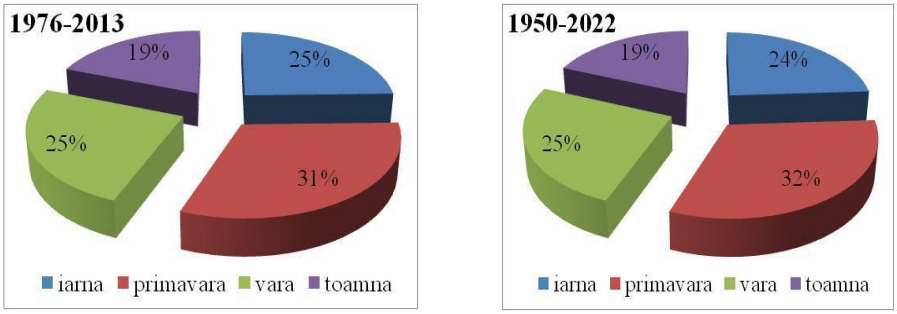


Figura 5. Dinamica stratului și volumului curgerii de apă a râului Lunga



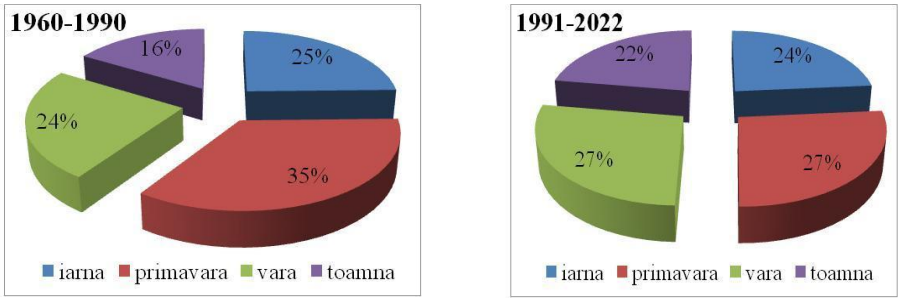


Figura 6. Repartiția curgerii de apă pe anotimpuri pentru diverse perioade

CONCLUZII

Informația hidrologică pentru RS este destul de modestă, stațiile hidrologice de pe râurile mici fiind practic absente. Pentru a spori cunoașterea specificului hidrologic al regiunii, a fost efectuată analiza caracteristicilor hidrologice a râului Lunga pentru perioada monitorizată, 1976-2013 în baza datelor SHS, precum și reconstrucția și evaluarea șirurilor de date hidrologice ale acestui râu până în prezent. Caracteristicile hidrologice medii pentru perioada monitorizată sunt: debitul mediu - 0,13 m^3/s, stratul scurgerii - 11 mm, volumul - 4,1 mil.m^3. Principalele resurse de apă se formează primăvara, aprox. 1/3. Aproximativ 25% din volumul de apă este generat vara și iarna, iar 19% - toamna. Reconstrucția șirurilor de date ale caracteristicilor hidrologice a fost efectuată din 1950 până în 2022. Caracteristicile hidrologice modelate nu diferă prea mult de cele monitorizate, însă compararea valorilor acestora pentru perioadele 1960-1990 și 1991-2022 arată o reducere generală a acestora cu 46% pentru perioada actuală, cu 48% pentru perioada de iarnă, cu 59% pentru primăvară, cu 40% pentru vară și 26,3% pentru toamnă.

REFERINȚE:

1. *Studiul diagnostic al potențialului natural și uman din Regiunea de Sud în contextul modificărilor actuale de mediu*, coordonatori: Petru Bacal, Andrian Țugulea Chișinău: Impressum, 2024, 250 p.
2. *Republic of Moldova's First Biennial Transparency Report under the Paris Agreement.* coordinators: Suzanne Lekoyiet, Silvia Nelipovschi; editorial group: Lilia Taranu, Mihai Tirsu, Tatiana Gutium [et al.]. Chișinău: Casa Editorial-Poligrafică Bons Offices, 2024, 280 p. Disponibil: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BTR1-EN-270125.pdf [accesat 2025-04-14]
3. JELEAPOV A. Evaluarea dinamicii curgerii de apă a râului Ialpug. In: *Mediul şi dezvoltarea durabilă: conferinţă ştiinţifică naţională cu participare internaţională*, Ed. 5, 17-18.05.2024, Chișinău: CEP UPSC, 2024, pp. 104-114.
4. JELEAPOV A. Dinamica monitorizării cantitative a râurilor din cadrul Regiunii de Dezvoltare Sud a Republicii Moldova. In: *Ştiinţa în Nordul Republicii*

Moldova: realizări, probleme, perspective, Ed. 8, 23-24 mai 2024, Bălți: Casa Editorial-Poligrafică Bons Offices, 2024, pp. 396-402.
5. *Cadastru de Stat al Apelor. Date multianuale despre resursele şi regimul apelor de suprafaţă. Chişinău, 2015. Partea 1. Râuri și canale. Partea 2. Lacuri d acumulare*, SHS, Chișinău, 2018, 478 p.
6. Cazac V., Mihăilescu C., Bejenaru G., Gîlcă G. *Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Apele de suprafața*. 2007. Chișinău: Știința, 248 p.
7. *Determinarea caracteristicelor hidrologice pentru condițiile Republici Moldova. Normativ în construcții CP D.01.05-2012*, ediție oficială. Agenția Construcții și Dezvoltarea teritoriului Republicii Moldova. Chișinău, 2013. 155 p. Disponibil: https://ednc.gov.md/wp-content/uploads/2023/06/CP-D.01.05-2012.pdf [accesat 2025-02-14]

N.B. *Cercetarea este efectuată în cadrul proiectului instituțional 010801 Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu, implementate de Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, perioada 2024-2027.*

COMPOSTAREA COMPLEXĂ A RESTURILOR VEGETALE ÎN STRATUL SUPERFICIAL AL PROFILULUI CERNOZIOMURILOR ARABILE: ABORDARE PEDOREGENERATIVĂ (ANALIZĂ CONCEPTUAL-SINTETICĂ)

COMPLEX COMPOSTING OF PLANT RESIDUES IN THE SURFACE LAYER OF THE ARABLE CHERNOZOIM PROFILE: PEDOREGENERATIVE APPROACH (CONCEPTUAL-SYNTHETIC ANALYSIS)

CZU: 631.44:631.8 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.60**

Gheorghe JIGĂU
ORCID: 0000-0002-4778-2105
E-mail: gheorghe.jigau@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Sergiu DOBROJAN
ORCID: 0000-0003-0040-5836
E-mail:sergiudobrojan84@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina DOBROJAN
ORCID: 0009-0003-1629-2220
E-mail: galinadobrojan87@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Iurie MOȘOI
ORCID: 0009-0005-8295-3060
E-mail: mosiur@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Boris TURCHIN
ORCID: 0009-0008-9452-0424
E-mail: siropcik@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Eugeniu SPRÂNCEAN
ORCID: 0009-0003-2572-4291
E-mail: schitagro@gmail.com
SRL "Schit-Agromex", Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Based on the systemic approach to soil, a conceptual-methodological framework for unidirectional management of the typogenetic pedogenetic processes responsible for the basic functions of soils, especially those that determine climate resilience and the ability to adapt to climate change, was developed. The conceptual-synthetic analysis of our own research and that of the literature showed that the evaluated process ensures the synchronized regeneration of all factors and mechanisms of the soil system.*

Keywords: *systemic soil degradation, systemic soil approach, physical, chemical, biological subsystems, shallow composting, mineralization-humification.*

INTRODUCERE

Conform cercetărilor mai recente în evoluţia cernoziomurilor din spaţiul dintre Prut şi Nistru pe parcursul ultimilor 100-150 de ani s-au succedat 3 etape degradative determinate de evoluţia resurselor bioenergetice şi a stării fizice a acestora.

Prima fază-timpurie (primii 10-13 ani după încadrarea terenurilor în circuitul agricol cauzată de degradarea accelerate a detritului humifer. La acea etapă reabilitarea pedofuncţională a solurilor putea fi asigurată prin returnarea resturilor vegetale în sol.

Etapa a doua-de degradare a sistemului de substanţe organice (acesta are rol decisiv în pedogeneza cernoziomică şi este materializat în evoluţia intercalată a profilului organic al solului şi celui agregatic), manifestată în degradarea funcţionalităţii interdependente şi interdeterminată a sistemului pedofuncţional [sistem bioenergetic]↔[sistem agregatic].

La acea etapă reabilitarea ecologică şi pedofuncţională a solurilor putea fi asigurată prin practicarea de asolamente resurso-reproductive şi încorporarea sistematică a resturilor vegetale în sol.

Actuala etapă de evoluţie antropo-naturală a pedogenezei cernoziomice din spatial dintre Prut şi Nistru se caracterizează cu instaurarea în soluri a unui trend unidirecţionat de degradare sistemică a cernoziomurilor ca formă superioară de organizare biorutinară a cernoziomurilor formă cu cel mai înalt grad de integrare a materiei abiotice şi celei biotice (Fig. 1).

În aceste condiţii regenerarea proceselor tipogenetice cernoziomice şi reabilitarea funcţionalităţii cernoziomurilor arabile presupune măsuri sistemice interdeterminate şi interdependente capabile să asigure restabilirea sincronizată a tuturor componentelor solului. În acest context scopul prezentelor cercetări presupune fundamentarea principiilor conceptual-aplicative a măsurilor tehnologice de reabilitare ecologică a cernoziomurilor arabile şi fundamentarea soluţiilor aplicativ-tehnologice de realizare a acestora.

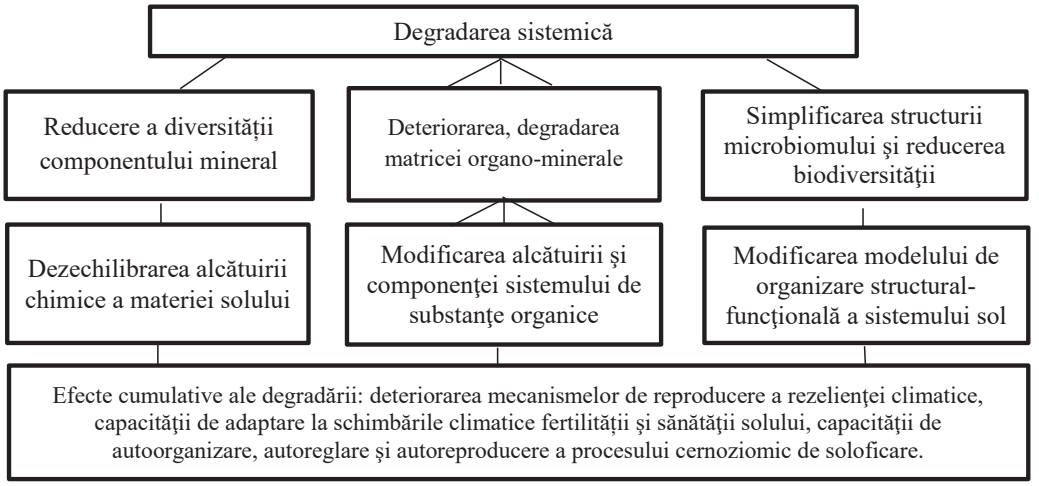


Figura 1. Degradarea sistemică a cernoziomurilor

MATERIALE ȘI METODE

Considerațiuni conceptual-metodologice

Prin prisma abordării factorial-procesuală (factori→regimuri→procese pedogenetice elementare→sol) a pedogenezei, sănătății și fertilității solurilor acestea presupun un complex de procese fizice, chimice, fizico-chimice, biologice interacționate interdependente și interdeterminate manifestate în factori fizici, chimici fizico-chimici și biologici care determină anumite stări fizice, chimice, fizico-chimice, biologice. Aceasta implică abordarea sistemică a solului ca sistem foarte complex cu o varietate infinită de conexiuni funcționale interne și externe care au o structură organizațională polinivelară foarte complexă (Fig. 2). Managementul procesului pedogenetic în cadrul unei abordări sistemice își propune să optimizeze aceste relații pentru a obține evoluția unidirecționată a procesului pedogenetic cernoziomic sporirea sănătății și fertilității solurilor și intensificarea funcțiilor eco/agroecosistemice.

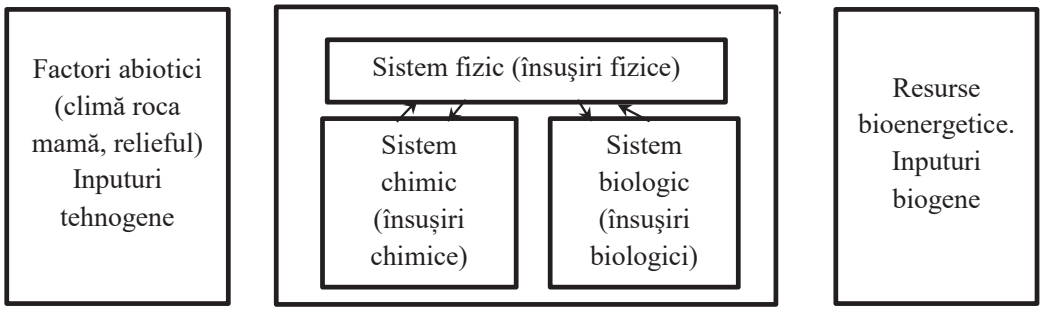


Figura 2. Organizarea sistemică a solului

Prin prisma conceptului organizării sistemice a solului este necesar să fie scoase în evidenţă câteva particularităţi ale acestuia de care trebuie să se ţină cont în cadrul activităţilor de evaluare a solului şi elaborării cadrului tehnologic de management sustenabil a funcţionalităţii sistemului ecologic „sol-plantă”.

1. Solul urmează a fi considerat sistem alcătuit din elemente/subsisteme structurale interacţionate prin relaţii directe şi de răspuns (Fig. 2).
2. Oricare modificare în cadrul unei subsisteme implică, în mod inevitabil, modificări în cadrul altor subsisteme.
3. Impactul îndelungat a unor factori din exterior asupra solului conduce la intensificarea activităţii proceselor direcţionate pe conservarea stării de echilibru a sistemului.
4. Pentru fiecare factor extern cu impact asupra solului sunt caracteristice intervale de valori în cadrul cărora sistemul îşi menţine starea de echilibru.

În contextul celor expuse orișice factor (fertilizare, lucrare, irigare etc.) de impact asupra solului este considerat factor de stres extrem de puternic.

Impactul de durată a unor atare factori poate fi cauză a perturbării stării de echilibru a sistemului cu ulterioara degradare a acestuia. Prin această prismă de idei managementul sistemic al solurilor presupune reducerea până la minimum a impactului şi măsuri tehnologice de atenuare a acestuia [1].

Prin această prismă de idei practicarea tehnologiei de compostare a materiei organice la suprafaţa solului (stratul superior) conceptul căreia este subiectul prezentelor cercetări presupune managementul sustenabil interdeterminat şi interdependent a tuturor factorilor (fizici, chimici, biologici) responsabili de funcţiile eco/agroecosistemice de bază ale solurilor.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Gestionarea cu procesele pedogenetice şi funcţionalitatea solurilor trebuie considerată o parte integrantă a sistemului de gestionare a productivităţii agroecosistemelor. Esenţa acestui sistem de gestionare constă în determinarea în fiecare situaţie specifică a lanţului de factorilor care limitează funcţionalitatea solurilor în scopul îmbunătăţirii consecvente a acestora utilizând cele mai eficiente practici agricole. Actualmente pentru restabilirea funcţionării normale a agroecosistemelor, reproducerea resurselor energetice în sol şi regenerarea procesului pedogenetic cernoziomic sunt utilizate din ce în ce mai multe investiţii energetice suplimentare care nu sunt întotdeauna recuperate prin producţie suplimentară. În plus acestea în multe cazuri au impacturi în detrimentul principalilor factori de sănătate şi fertilitate a solurilor responsabile de regenerarea procesului pedogenetic cernoziomic şi funcţiile agroecosistemice de bază a acestora.

Cele menţionate implică concluzia că reabilitarea ecologică la această etapă presupune consolidarea mecanismelor de autoreabilitare a solului bazat pe reproducerea şi utilizarea materiei organice de origine vegetală. Prin urmare accentele trebuie plasate nu atât pe intensificare aporturilor de resurse tehnogene (fertilizanţi minerali, pesticide etc.) cât pe intensificarea proceselor de acumulare şi transformare a energiei în sol sub formă

de materie organică şi revizuirea metodelor tradiţionale de preparare a materialelor organice şi de utilizare a acestora.

Actualmente pentru managementul regenerativ al procesului cernoziomic în regim arabil pe scară sunt utilizate resturile vegetale, îngrăşămintele verzi, culturile succesive de acoperire prin încorporarea lor directă în sol. În acelaşi timp, însă, mai multe cercetări arată că acest procedeu este constrâns de efectul deprimant al resturilor vegetale asupra recoltei culturii ulterioare.

Totodată compostarea lor în locuri amenajate implică cheltuieli mari pentru deplasare şi distribuire.

Din acest considerente în opinia noastră principala modalitate neconvenţională de utilizare eficientă a acestor resurse bioenergetice uşor accesibile materializată în sporirea unidirecţionată a conţinutului de materie organică în sol este compostarea lor la suprafaţa solului direct în câmp aceasta fiind cea mai ieftină şi mai accesibilă metodă de returnare regulată a materiei organice în sol.

Procesul de compostare în segmentul superior al solului contribuie intensificării funcţionării unidirecţionate a interdependente şi interdeterminate a tuturor subsistemelor solului.

Mai receptiv la condiţiile bioenergetice nou create este sistemul biologic iar efectele induse se manifestă nu doar în intensificarea activităţii biologice a microbiomului solului dar şi în dezvoltarea tuturor grupelor de microorganisme responsabile de circuitul carbonului şi elementelor organogene dar şi de procesele care se realizează în sistemul „sol-plantă" aferente acestuia. Pe măsura dezvoltării microbiomului sporeşte gradul de protecţie a acestuia atât prin asigurarea unor condiţii mai favorabile hidrotermice şi nutritive cât şi prin furnizarea în sol de substanţe humice proaspete care reduc la minimum dezvoltarea şi activitatea organismelor patogene. Dezvoltarea intensivă a microbiomului solului şi activităţii acestuia este favorizată de gradul înalt de compatibilitate a biotei substratului în fază de compostare şi celei a solului [2].

Descompunere a masei compostate în stratul superior al solului presupune dezvoltarea în acesta a unei asociaţii microbiotice corespunzătoare condiţiilor concrete de landşaft. În acest sens, în segmentul superior decurg procese tipice respectivului tip/subtip de soluri.

În context energetic stratul superior al solurilor, în cadrul unei atare tehnologii complexe, reprezintă sisteme neechilibrate care interacţionează cu straturile de aer aferente suprafeţei solului în timp între sol şi acestea instaurându-se un echilibru dinamic, caracteristic sistemelor termodinamice care îmbogăţesc solul cu energie liberă prin sporirea conţinutului de materie organică, elemente de nutriţie şi un consum mai econom al resurselor bioenergetice manifestat în reducerea emisiilor de gaze în atmosferă. Totodată, în aceste condiţii se intensifică funcţiile informaţionale, se formează compuşi noi, se modifică structurarea şi însuşirile solului şi se diversifică structurile nou formate. În acelaşi timp se intensifică procesele care se realizează în spaţiul poros al formaţiunilor structurale nou formate astfel regenerându-se „blocul regenerativ" cu dezvoltarea unui nou tip de memorie.

Prin această prismă de idei compostarea materiei organice în stratul superior al solului reprezintă o etapă nouă în regenerarea unidirecţionată a agrolandşaftelor. În acest sens, practicarea unei atare tehnologii presupune demararea în soluri a unei etape unidirecţionate de regenerare a tuturor componentelor landşaftului.

În acest sens, în segmentul superior al profilului se asigură o ambianţă ecologică corespunzătoare unui nivel bioenergetic mai înalt şi, respectiv, unei funcţionalităţi mai intensive.

Conform conceptului tehnologic managementul proceselor care se realizează în substratul în fază de compostare presupune încorporarea acestuia la 6-8 cm în primul an, 10-14 cm în al doilea şi 20-22 cm în al treilea. Acestea presupun 3 nivele de transformare-compostare:

1. de mineralizare-humificare intensivă a biomasei verzi, din componenţa substratului, cu formarea de fitonutrienţi minerali şi organominerali care asigură efecte imediate ale lucrărilor, dezvoltarea microbiomului şi zoocenozei care contribuie iniţierii procesului de transformare-descompunere a paielelor cu formarea de substanţe organice labile, şi humice mobile.
2. de humificare intensivă a paielelor cu formarea de substanţe humice, realizarea reacţiilor organo-minerale, agregarea-structurarea în situ şi furnizarea de substanţe humice pentru stratul subiacent al profilului (AmB).
3. de humificare lentă şi furnizarea de substanţe humice pentru orizontul de tranziţie la roca mamă (B) .

Prin această prismă de idei conceptul tehnologie presupune regenerarea modelului natural de funcţionare a sistemului de substanţe organice manifestat în profilul humifer progresiv-acumulativ al cernoziomurilor cu integrarea acestuia cu cel agregativ.

În acest sens evoluţia sistemului de substanţe organice presupune integrarea unidirecţionată interdeterminată şi interdependentă a profilului humifer şi celui agregatic astfel asigurându-se nu doar acumularea carbonului organic în sol dar şi stabilizarea acestuia.

Prin această prismă de idei considerăm că esenţa procesului cernoziomic de solificare presupune integrarea unidirecţionată la scară pedologică a timpului a procesului de formare-acumulare humusului şi celui de agregare-structurare materializată în constituirea unor formaţiuni pedogenetice biorutinare cu cel mai înalt grad de integrare a materiei abiotice şi celei biotice [3].

În acest sens cercetările noastre au arătat că formarea structurii agregatice presupune realizarea unidirecţionată a lanţului funcţional evolutiv: particulă elementară → ultramicroagregat → microagregat (< 0,25 mm) → agregate fine (0,25-1,0 mm) → mezo-agregate (1-5 mm) → macroagregate (5-10 mm) [3].

În acelaşi timp, s-a stabilit că postacţiunea procesului de compostare a materiei organice în stratul superior al solului alcătuieşte până la 5 ani şi mai mult dat fiind intensitatea moderată a procesului integral de mineralizare-humificare în cadrul acestuia [4].

Procesul de formare şi evoluţie a compostului în stratul superficial al solului presupune ameliorarea componenţei ultimului în sensul sporii conţinutului de substanţe organice, regenerarea sistemului de substanţe organice, formarea de compuşi humici şi organo-minerali. Sincronizat cu componenta organică [sistem bioenergetic] evaluează componenta structural-agregatică [sistem agregatic], regimurile pedogenetice, pedofuncţionale procesele şi funcţiile determinate de acestea, în special bioproductivă, sanocreativă şi cea ambiental modelatoare responsabilă de rezilienţa climatică şi capacitatea de adaptare la schimbările climatice, în special la secetă.

Principalul factor care determină rezilienţa climatică şi adaptarea la ciclicitatea climei la scara pedogenetică a timpului este sistemul de substanţe organice care se materializează prin intermediul structurii, aceasta la rândul ei materializându-se prin indicii de aşezare (densitatea aparentă, porozitatea totală şi diferenţială). Indici integratori ai evoluţiei factorilor specificaţi sunt parametrii hidrofizici permeabilitatea pentru apă şi conductivitatea hidraulică, capacitatea totală şi cea de câmp pentru apă, umiditatea de întrerupere a continuităţii capilare şi cea de ofilire, diapazonul optimal de apă utilă (DOAU) şi diapazonul de apă utilă (DAU).

Prin această prismă de idei funcţia de bază a procedeului de compostare a resturilor organice în stratul superficial al cernoziomurilor presupune asigurarea unui cadru hidrofizic optimal pentru funcționarea sistemului ecologie „sol-plantă”, materializat în capacitatea de adaptare a acestuia la condiţiile climatice.

CONCLUZII

Regenerarea procesului pedogenetic cernoziomic, în cadrul actualei faze de degradare sistemică a acestora, managementul proceselor pedogenetice presupune intensificarea proceselor de acumulare şi transformare a substanţelor şi energiei în sol sub formă de materie organică dar şi revizuirea metodelor tradiţionale de preparare a materialelor organice şi de utilizare a acestora.

În baza analizei conceptual-sintetice a cercetărilor din domeniu considerăm că cea mai indicată modalitate netradiţională de sporire a materiei organice în sol şi de regenerare interacţionată interdependentă şi interdeterminată a tuturor componentelor sistemului solului este compostarea complexă a diverselor deşeuri din agricultură, îngrăşămintelor verzi, sideratelor ş.a. direct în câmp în stratul superior (orizontul Am) al profilului solului.

REFERINȚE:

1. ОВСЯННИКОВ Ю. А. Использование системного подхода при изучении почвы. Овсянниковю Аграрный вестник Урала, 2006, №2 (32). с. 51- 53.
2. JIGĂU GH., DOBROJAN S., TURCHIN B., SPRÂNCEAN E., SPRÂNCEAN N. Obţinerea şi utilizarea preparatelor biooganominerale în tehnologiile mo-

dernizate de adaptare a solurilor la schimbările climatice. Chişinău, S.n. 2022, (Primex-Com) 80 p.
3. ЖИГЭУ Г. Теоретические основы управления агрегатной структурой черноземов. Lider Agro. 2020, No. 9. с. 14-18.
4. БЕЛЮЧЕНКО И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани. I Всероссийская Научная конференция. Краснодар, 2009. с. 54–59.

N.B. *Articolul este realizat în cadrul proiectului „Eficientizarea tehnologiei de utilizare a producţiei vegetale secundare în calitate de fertilizant prin aplicarea preparatelor algale, cianobacteriene şi bioorganominerale”, cu cifrul 24.80015.7007.03PI, şi „Biotehnologie complexă de management a rezilienţei climatice a agrofitocenozelor vulnerabile la schimbările climatice”, cu cifrul 24.80015.7007.04VI.*

EVALUAREA IMPACTULUI AFLUENȚILOR DE DREAPTA ASUPRA STĂRII ECOLOGICE A NISTRULUI ÎN REPUBLICA MOLDOVA SUB ASPECTUL SEZONIER

ASSESSING THE IMPACT OF RIGHT TRIBUTARIES ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE DNIESTER RIVER IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA UNDER THE SEASONAL ASPECT

CZU: 551.583:574.5(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.61**

Olga JURMINSKAIA
ORCID: 0009-0002-8005-3577
E-mail: ojur_aia@mail.ru
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena ZUBCOV
ORCID: 0000-0002-8437-8195
E-mail: elzubcov@mail.ru
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nina BAGRIN
ORCID: 0000-0003-4816-4349
E-mail: boicenco_nina@mail.ru
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The aim of the work is to investigate under the seasonal aspect some physico-chemical parameters of the water quality of the Dniester River, before and after the confluence of the rivers Raut, Bâc and Botna, from the point of view of the functioning of the lotic ecosystem. In situ hydrochemical investigations and water sampling were carried out during the hydrological seasons 2024 and 2025 (summer, autumn, winter and spring) in the lower sector of the Dniester River Basin on the territory of the Republic of Moldova. The influence of the tributaries on the Dniester water temperature is pronounced in the period of Spring High Waters and practically absent in the period of hydrological drought. The pH values of the Dniester and the tributaries water vary within the quality classes I and II. The seasonal dynamics is not pronounced. According to the oxygen regime parameters, the WQC ranges from I to V, and the critical values of the oxygen regime are stably recorded for the Bâc River. The recovery of the oxygen regime by the Dniester River ecosystem is more effective during good flows and low water temperatures (winter and spring) and less effective during periods of high water temperatures and hydrological droughts.*

Keywords*: Dniester River, Răut, Bâc, Botna rivers, quality indicators of the aquatic ecosystem.*

INTRODUCERE

Toate corpurile de apă dulce sunt interconectate prin intermediul ciclurilor hidrologice [1] care, în ecoregiunile din estul și vestul Europei, sunt determinate de ciclurile climatice, având astfel o dinamică sezonieră pronunțată. Cea mai mare parte a biotei acvatice a râurilor din această zonă este reprezentată de hidrobionți poikilotermi care nu au o temperatură constantă a corpului, astfel încât ciclurile lor de viață sunt complet adaptate la dinamica sezonieră a temperaturii ambientale. O stare ecologică bună a corpurilor de apă asigură funcționarea durabilă a ecosistemelor acvatice, de care depinde în mod direct capacitatea lor de autopurificare. Această funcție se dovedește imposibil de îndeplinit în condițiile actuale de schimbări climatice și de presiune antropogenă asupra ecosistemelor de apă dulce.

Suprafața bazinului hidrografic Nistru în interiorul granițelor Republicii Moldova este repartizată asimetric față de axa principală a văii fluviului, astfel încât suprafața de stânga este de 3514,79 km² (18,27%), iar a celei de dreapta, de 15718,0 km² (81,73%). Cele mai lungi râuri din Districtul Bazinului Hidrografic Nistru (DBHN) sunt afluenții de dreapta: Răut cu lungimea de 286 km, Bâc cu lungimea de 155 km și Botna cu lungimea de 146 km [2].

Pentru a evalua impactul afluenților de dreapta (Răut, Bac și Botna) asupra calității apei Nistrului, au fost efectuate expedițiile sezoniere cu monitorizarea situației in situ și colectarea probelor. În condiții naturale, starea actuală a râului la momentul prelevării probelor instantanee este determinată de: caracteristica hidromorfologică a locației și dinamica condițiilor meteorologice care determină regimul hidrologic al cursului de apă. În condiții reale, starea ecologică a unui anumit sector de râu, în afară de factorii naturali, este determinată de impactul antropogen, cum ar fi reglarea debitului de apă, exploatarea economică a zonei riverane de protecție, care deschide accesul poluanților din aceste zone în albia râului, precum și evacuările apelor uzate.

Sezonul hidrologic de iarnă pe teritoriul Republicii Moldova se caracterizează prin formarea continuă a formațiunilor de gheață pe corpurile de apă. În unele cazuri de încălzire a vremii poate avea loc fenomenul de moină cu topirea parțială sau completă a stratului de zăpadă [3]. Conform observațiilor pe termen lung pe râurile Nistru și Prut, în astfel de cazuri pot avea loc viituri de iarnă. Regimul hidrologic al lunii februarie se caracterizează prin debite în limitele normei și periodic peste normă. Conform datelor multianuale pe râurile din Republica Moldova, această este luna termenelor medii de început al Apelor Mari de Primăvară (AMP).

Dinamica AMP sunt în raport direct cu evoluția condițiilor meteorologice din munții Carpați cât și din teritoriul Republicii Moldova. În anul 2025, valoarea medie a rezervei de apă din zăpadă la începutul fenomenului AMP a constituit 30-40 mm pentru partea de nord, 20-30 mm pentru partea centrală și 15-20 mm pentru partea de sud. Sezonul de iarnă 2025 în regiunea a fost cald și fără zăpadă [4]. În Transcarpatia, rezerva de apă din zăpadă a fost de 13,6 mm, în timp ce în bazinul Nistrului de pe teritoriul Republicii Moldova această rezervă de apă nu a fost prezentă deloc.. În contrast cu iarna, primăvara

2025 a fost răcoroasă și ploioasă, ceea ce a cauzat o creștere a nivelului apei în fluviul Nistru și în râurile din bazinul său hidrografic. În aceste condiții meteorologice, fenomenul APM a început la mijlocul decadei a doua a lunii martie și a continuat până la sfârșitul lunii aprilie. Prelevarea de probe în primăvara anului 2025 a coincis cu această perioadă. Ca urmare a creșterii debitului mediu zilnic în lacul de acumulare Dnestrovsk (Ucraina) de la 100 m^3/s la 125 m^3/s, nivelul apei a crescut cu 0,20-0,50 m, în timp ce debitul apei nu a depășit 40-45% din valorile lunare medii multianuale. Din cauza lipsei rezervei de apă din stratul de zăpadă și a precipitațiilor reduse, râurile mici pe teritoriul Republicii Moldova au prezentat o manifestare slabă a APM.

Caracteristica specifică a climei regionale este reprezentată de secetele periodice pe teritoriul Republicii Moldova. Cele mai importante și acute sunt secete hidrologice, care reprezintă o reducere semnificativă a nivelului apei din râuri și a nivelului apelor subterane. Clima regiunii în ultimul deceniu se caracterizează prin faptul că secetele hidrologice devin un fenomen obișnuit nu numai pentru sezonul de vară, ci și pentru sezonul de toamnă și chiar de primăvară. În astfel de perioade, multe râuri mici din țara rămân fără debit. Exact o astfel de situație a fost înregistrată în albia râului Botna în timpul expedițiilor de toamnă 2024 implementate de Laboratorul de Hidrobiologie și Ecotoxicologie al Institutului de Zoologie. Scopul acestei lucrări este de a investiga sub aspectul sezonier unii parametri fizico-chimici ai calității apei în sectorul inferior al Nistrului, înainte și după confluența râurilor Răut, Bâc și Botna, din punctul de vedere al funcționării ecosistemului lotic.

MATERIAL ȘI METODE

Investigațiile hidrochimice in situ și prelevarea de probe au fost efectuate pe parcursul sezoanelor hidrologice 2024 și 2025 (vară, toamnă, iarnă și primăvară) în sectorul inferior al fluviului Nistru, unde se află zonele de confluență cu râurile Răut, Bâc și Botna. Probele din râul Răut au fost prelevate în apropierea satului Ustia, din râul Bâc în apropierea satului Gura-Bîcului și din râul Botna în apropierea satului Merenești. Probele din fluviul Nistru au fost prelevate în amonte și aval de confluența cu afluenții.

Temperatura și reacția activă a apei (pH-ul) au fost măsurate la fața locului utilizând analizatorul multiparametric CONSORT C5030. Concentrația oxigenului dizolvat în apă a fost determinată prin metoda clasică Winkler, cu etapa de fixare a oxigenului efectuată in situ. Conținutul de substanțe biodegradabile în probele colectate a fost estimat prin metoda de determinare a consumului biochimic de oxigen (CBO_5), care este un test empiric de incubare ermetică la 20°C, în întuneric, timp de 5 zile a probelor de apă din care au fost eliminați consumatorii de oxigen, cum ar fi zooplanctonul și fitoplanctonul. Aceste condiții sunt reglementate de Metoda Standard 5210 (Biochemical Oxygen Demand, BOD) [5], precum și de standardul național SM EN ISO 5815-1:2020 [6]. Calitatea apei râurilor Nistru, Răut, Bâc și Botna a fost evaluată pe baza Anexei 1 la *Regulamentul* național în vigoare [7], care conține valori-limită pentru cinci clase de

80 de indicatori de calitate, inclusiv regimul de oxigen, starea de acidificare, nutrienți, metale, poluanți organici și alții.

REZULTATE

Perioada de cercetare a ecosistemului Nistrului sub impactul condițiilor climatice și al stării ecologice a afluenților, luată în considerare în prezenta lucrare, este vara anului 2024 – primăvara anului 2025. Pentru investigații hidrochimice, au fost prelevate probe instantanee. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 1 în mod sezonier cu distribuția locațiilor de prelevare de-a lungul profilului longitudinal al Nistrului.

Tabelul 1. Rezultatele de încercare ale probelor colectate în perioada analizată.

Locul de prelevare	Parametrii – indicatorii de calitate				
	T apei, °C	Unități pH	O_2, mg/L	O_2, % de sat	CBO_5, mgO/L
Vara 2024					
fl. Nistru amonte de r. Răut	23,8	8,15	4,30	48,9	1,81
r. Răut, zona de confluență	22,7	8,20	4,59	51,3	1,85
fl. Nistru aval de r. Răut	23,5	8,00	3,52	39,8	1,50
fl. Nistru amonte de r. Bâc	24,4	8,07	6,14	70,6	1,30
r. Bâc, zona de confluență	23,8	7,97	0,00	0,0	39,64
fl. Nistru aval de r. Bâc	25,3	8,03	5,98	69,7	1,80
fl. Nistru amonte de r. Botna	23,5	8,05	6,15	69,6	3,27
r. Botna, zona de confluență	22,8	8,10	5,03	56,3	13,62
fl. Nistru aval de r. Botna	23,3	8,06	5,91	66,7	3,35
min/max	22,7 / 25,3	8,0 / 8,2	0,0 / 6,2	0,0 / 70,6	1,3 / 39,6
Toamna 2024					
fl. Nistru amonte de r. Răut	17,2	8,37	7,09	71,7	0,60
r. Răut, zona de confluență	16,4	8,38	5,82	57,9	0,90
fl. Nistru aval de r. Răut	17,0	8,25	6,15	61,9	0,56
fl. Nistru amonte de r. Bâc	17,7	8,58	7,92	80,8	0,52
r. Bâc, zona de confluență	18,6	7,97	2,01	20,9	4,43
fl. Nistru aval de r. Bâc	18,3	8,45	7,37	76,1	0,78
fl. Nistru amonte de r. Botna	18,1	8,40	7,65	78,7	0,84
r. Botna, zona de confluență	Nu a fost apa în albia râului în zona de confluență				
fl. Nistru aval de r. Botna	18,3	8,46	7,34	75,7	0,72
min/max	16,4 / 18,6	8,0 / 8,6	2,0 / 7,9	20,9 / 80,8	0,5 / 4,4
Iarna 2025					
fl. Nistru amonte de r. Răut	2,4	8,37	11,65	84,5	1,06
r. Răut, zona de confluență	2,0	8,46	10,76	77,3	1,32
fl. Nistru aval de r. Răut	1,6	8,37	11,28	80,2	1,20

fl. Nistru amonte de r. Bâc	2,3	8,63	12,22	88,5	0,80
r. Bâc, zona de confluență	6,1	8,09	2,33	18,6	2,68
fl. Nistru aval de r. Bâc	2,3	8,77	11,69	84,7	1,42
fl. Nistru amonte de r. Botna	2,4	8,72	12,22	88,7	0,99
r. Botna, zona de confluență	1,1	8,87	11,12	78,0	1,97
fl. Nistru aval de r. Botna	2,3	8,73	11,86	85,9	0,90
min/max	1,1 / 6,1	8,1 / 8,9	2,3 / 12,2	18,6 / 88,7	0,8 / 2,7
Primăvara 2025					
fl. Nistru amonte de r. Răut	8,6	8,59	10,12	85,5	1,63
r. Răut, zona de confluență	10,7	8,68	8,86	78,4	1,40
fl. Nistru aval de r. Răut	8,6	8,75	9,71	82,0	1,48
fl. Nistru amonte de r. Bâc	10,2	8,68	10,39	91,0	1,38
r. Bâc, zona de confluență	12,7	7,79	0,21	1,9	17,60
fl. Nistru aval de r. Bâc	10,9	8,62	9,85	87,6	2,02
fl. Nistru amonte de r. Botna	11,0	8,63	9,96	88,7	1,80
r. Botna, zona de confluență	13,0	8,91	8,52	79,2	6,98
fl. Nistru aval de r. Botna	11,9	8,74	9,82	89,2	2,09
min/max	8,6 / 13,0	7,8 / 8,9	0,2 / 10,4	1,9 / 91,0	1,4 / 17,6

Rezultatul măsurării pH-ului prin metoda electrometrică nu depinde de culoarea probei, de turbiditatea acesteia, de prezența clorului liber și a substanțelor reducătoare sau oxidante, dar depinde de temperatura probei testate. Prin urmare, măsurarea pH-ului în cadrul programelor de monitorizare a ecosistemelor acvatice se realizează la fața locului. Utilizarea analizorului portabil CONSORT C5030 cu electrodul de referință și electrodul de detecție, combinate într-un senzor cu membrană de sticlă, permite compensarea automată a temperaturii în timpul măsurării pH-ului prin conectarea unui senzor de temperatură Pt1000.

Există diferiți factori care pot afecta precizia determinării CBO în apele de suprafață, inclusiv prezența materiilor solide în suspensie, a substanțelor organice greu oxidabile, oxidarea fierului redus și a compușilor de sulf și altele. Pe de altă parte, hidrobionții, prezente în mod natural în probele colectate, inclusiv bacterioplancton, fitoplancton și zooplancton, consumă oxigen dizolvat în timpul și după prelevare. Prin urmare, este foarte important să începeți analiza cât mai curând posibil după prelevarea probei.

DISCUȚII

Temperatura apei. Regimul natural de temperatură al unui corp de apă este rezultatul mai multor procese care au loc simultan, și anume: radiația solară, evaporarea, schimb de temperatură cu atmosfera, transferul de căldură prin scurgere, amestecul turbulent al apei și altele. Temperatura râurilor lungi variază, de asemenea, în funcție de schimbarea zonelor geografice pe care le traversează. Sectorul moldovenesc al Nistrului (475 km – pe teritoriul Republicii Moldova și 225 km – sectorul transfrontalier cu Ucraina) este

situat în două ecoregiuni (DCA, anexa XI): nr. 16 – *Câmpia de Est* și nr. 12 – *Provincia Pontică*. Granița dintre ecoregiuni trece de-a lungul hidrocentralei Dubăsari. Pe teritoriul Republicii Moldova, Nistru curge de la nord-vest la sud-est în condițiile unui climat continental moderat, cu o temperatură medie de 21,4°C în iulie și -3,5°C în ianuarie. Precipitațiile scad de la 620 la 450 (mm/an) în această direcție. Majoritatea riscurilor din această zonă a bazinului Nistrului sunt asociate în prezent cu secetele hidrologice [8].

În perioada analizată, intervalul de variație sezonieră a temperaturilor apei în râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte și în aval de confluență a fost de 22,7-25,3 (°C) vara, 16,4-18,6 (°C) toamna, 1,1-6,1 (°C) iarna și 8,6-13,0 (°C) primăvara (Tab. 1). Este evident că temperaturile apei în râurile cu adâncimi și debite mici sunt mai ridicate decât în fluviul Nistru în sezoanele calde și mai scăzute în sezoanele reci. Analiza grafică a datelor din Fig. 1 indică faptul că cel mai natural co-raportul de temperaturi pentru fluviul Nistru și afluenții săi a fost în primăvara 2025, când prelevarea de probe a coincis cu fenomenul AMP. În timpul iernii, temperatura apei din râul Bâc în aval de municipiul Chișinău este mai mare decât cea naturală, deoarece este determinată de temperatura apelor uzate municipale ale populației care utilizează alimentarea cu apă caldă.

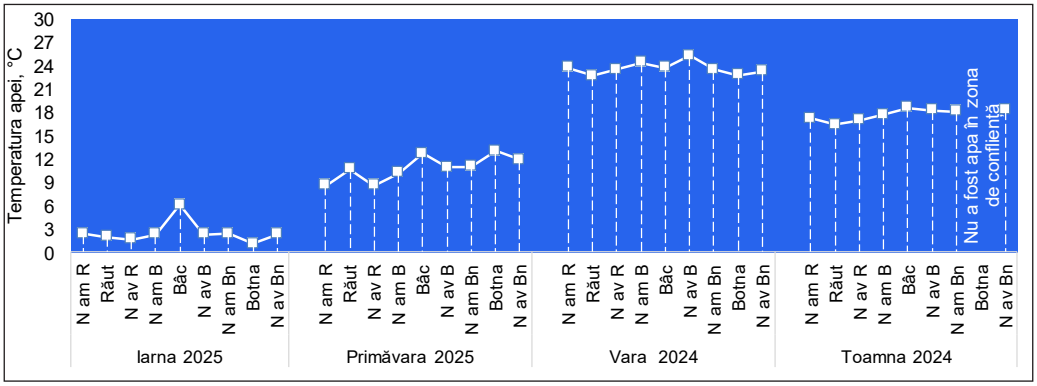


Figura 1. Variațiile sezoniere ale temperaturii apei în râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte/aval de confluență.

Temperatura apei este unul dintre principalii factori limitativi în ecosistemele lotice, adaptarea la care necesită mai mult timp, cu cât nivelul de dezvoltare al organismelor este mai înalt. În procesul de adaptare la regimul de temperatură al unui corp de apă, se formează ciclurile de dezvoltare ale hidrobionților poikilotermi, se reglează rata proceselor metabolice, ceea ce asigură supraviețuirea comunităților biotice [9].

Reacția activă a apei. Un factor la fel de important în habitatele acvatice este starea de acidificare – reacția activă a apei (pH-ul). Majoritatea standardelor naționale și internaționale cu privire la calitatea mediului pentru apele de suprafață reglementează parametrul pH în intervalul 6,5-8,5. În conformitate cu *Regulamentul* național (2013), acest interval corespunde clasei de calitate I. Efectele biologice ale expunerii acestui factor de habitat încep la pH < 6,5 și > 9,0. Atunci când pH-ul scade sub 5,6, acesta poa-

te afecta respirația, deteriora branhiile peștilor și limita absorbția oxigenului; în timp ce condițiile alcaline (pH peste 9,0) pot crește toxicitatea amoniacului [10].

În condiții naturale (fără impact antropic), reacția activă a apei în ecosistemele acvatice este supusă fluctuațiilor sezoniere. În perioada de vegetație, pH-ul apei poate fi influențat de diferite procese: vara – procesul de fotosinteză (în acest caz, concentrația de CO_2 în apa scade, ceea ce provoacă alcalinizarea locală a apei), iar la sfârșitul verii și toamna – procesele de descompunere a biomasei (în acest caz, se produce CO_2, ceea ce acidifică stratul de apă supranatantă) [11].

În perioada analizată, reacția activă a apei în râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte și în aval de confluență a variat în intervalul 8,0-8,2 (un. pH) vara, 8,0-8,6 (un. pH) toamna, 8,1-8,9 (un. pH) iarna și 7,8-8,9 (un. pH) primăvara (Tab. 1). Astfel, reacția activă a apei în ecosistemele lotice studiate a variat între I-II clase de calitate. În ceea ce privește dinamica sezonieră naturală, aceasta a fost absentă în secțiunea studiată a Nistrului Inferior. Cele mai scăzute valori au fost asociate cu sezonul de vară (Fig. 2): în condiții de secetă hidrologică, debit scăzut și viteză redusă a fluxului, procesele de descompunere a biomasei în straturile de fund ale cursurilor de apă au fost intensificate. În râul Bâc, aceste procese (sedimentarea și descompunerea nămolului activat) sunt stabile pe tot parcursul anului, chiar și iarna, deoarece temperaturile fluxului de apă după stația de epurare nu sunt niciodată negative. Râul Răut nu afectează în mod semnificativ pH-ul apei din râul Nistru, în timp ce pH-ul apei din râul Botna, dacă este prezent, adesea nu îndeplinește clasa de calitate I.

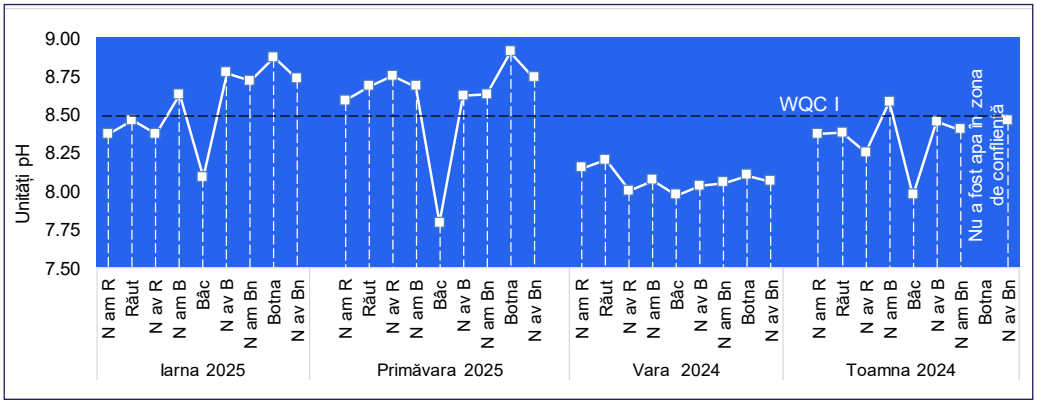


Figura 2. Variațiile sezoniere ale reacției active a apei în râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte/aval de confluență, comparativ cu valoarea-limită pentru clasa de calitate I.

Diferiții parametri ai calității apei sunt strâns corelați, și modificările unuia dintre aceștia îi afectează pe ceilalți. Temperaturile ridicate pot crește ușor pH-ul, deoarece solubilitatea CO_2 scade. Atunci când pH-ul este mai mare de 9, NH_4^+ este transformat în NH_3, ale cărui proprietăți toxice pentru biota acvatica sunt cunoscute. Caracteristicile bune de tamponare ale apei fluviului Nistru permit încă echilibrarea

reacției active în cadrul claselor de calitate I-II, în ciuda influenței râurilor precum Bâc sau Botna.

Oxigen dizolvat. Regimul de oxigen al unui ecosistem acvatic este caracterizat de un grup de parametri fizico-chimici precum concentrația oxigenului dizolvat (mg/L, % de saturație), consumul biochimic de oxigen (CBO) și consumul chimic de oxigen (CCO). În ecosistemele acvatice studiate, cea mai mare variație a valorilor a fost înregistrată pentru parametrii regimului de oxigen. În probele colectate din râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru, conținutul oxigenului a variat în intervalul 0,0-6,2 (mg/L) vara, 2,0-7,9 (mg/L) toamna, 2,3-12,2 (mg/L) iarna și 0,2-10,4 (mg/L) primăvara (Tab. 1). Cea mai mare valoare de 10,4 mg/L (saturație de 91% la temperatura apei de 10,2°C) a fost înregistrată primăvara pentru apa Nistrului în amonte de râul Bâc (în aval de barajul lacului de acumulare Dubăsari). Această valoare corespunde clasei de calitate I. Cele mai scăzute valori de 0,0 și 0,2 (mg/L) au fost înregistrate în râul Bâc în expedițiile de vară 2024 și primăvară 2025. O analiză grafică a dinamicii sezoniere a oxigenului dizolvat în apa Nistrului și a afluenților este prezentată în Figura 3, care arată că, pe parcursul perioadei hidrologice analizate, valorile acestui parametru au variat în intervalul claselor de calitate I-V, cu excepția râului Bâc, deoarece pentru astfel de valori ale oxigenului dizolvat, clasa de calitate nu este prevăzută în *Regulamentul*.

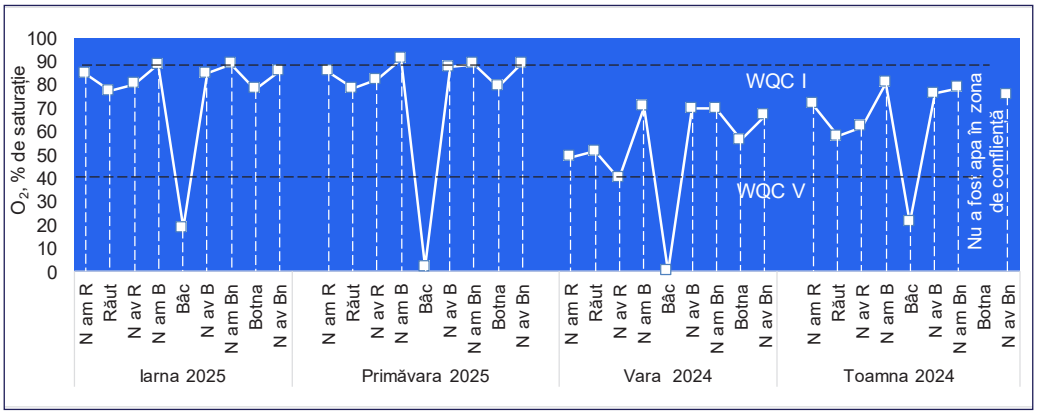


Figura 3. Variațiile sezoniere ale saturației oxigenului în apa râurilor Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte/aval de confluență, comparativ cu valorile-limită claselor de calitate I și V (WQC).

Factorii naturali cei mai importanți care afectează solubilitatea oxigenului în apa de râu sunt presiunea atmosferică, turbulența fluxului, temperatura apei, iar în ecosistemele lentice și activitatea fotosintetică a fitoplanctonului și a macrofitelor. Deficitul de oxigen poate fi provocat atât de cauze naturale (temperatura ridicată a apei, descompunerea sezonieră a biomasei), cât și de impactul antropogen (barajul cursului de apă, reducerea vitezei și a debitului râului, evacuarea apelor uzate neepurate etc). În orice combinație a acestor factori, concentrația de oxigen la un moment dat este rezultatul echilibrului dinamic între procesul natural de aerare (difuzie/convecție), procesele de consumare

chimică și biochimică a oxigenului și procesul de producție fotosintetică de oxigen (dacă există).

Procesul de solubilitate a oxigenului se corelează negativ cu temperatura apei, astfel încât în ecosistemele de referință concentrația de oxigen dizolvat crește odată cu scăderea temperaturii. În râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru, corelația acestor parametri arată așa cum este prezentat în Figura 4.

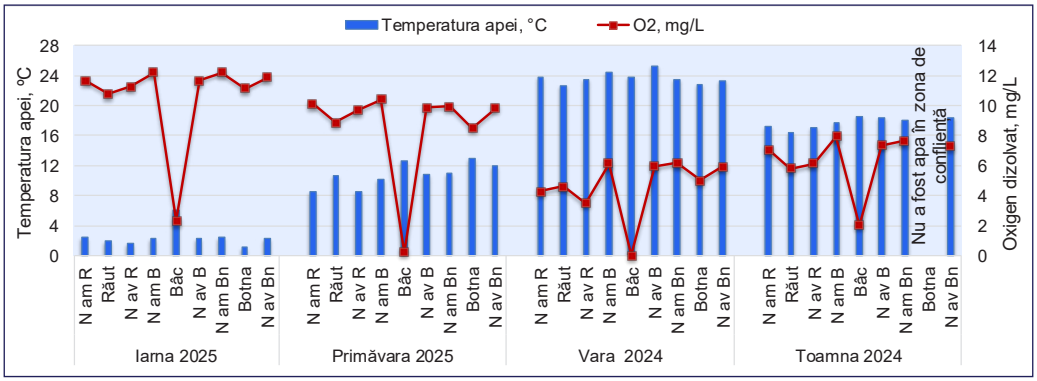


Figura 4. Corelația dintre temperatura apei și concentrația de oxigen dizolvat în probe instantanee din râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte/aval de confluența.

Este destul de evident că la o temperatură a apei în râul Bâc de 12,7°C, concentrația de oxigen dizolvat în condiții de referință ar trebui să fie de 10,8 mg/L, și nu de 0,21 mg/L, așa cum s-a dovedit în realitate. Această situație se datorează prezenței nămolului în efluentul evacuat din Stația de epurare biologică, care consumă în mod activ oxigenul dizolvat, cauzând deficitul acestuia pentru alți reprezentanți ai hidrobiocenozei râului Bâc.

În corpurile de apă de suprafață, există în mod natural multe sisteme de respirație activă a oxigenului dizolvat. Acestea includ toate hidrobionții, precum și consorțiul bacterian din plancton și detritus, și organismele fotosintetizatoare, care consumă, de asemenea, oxigen în timpul respirației, în special noaptea sau în condiții de stres. În afară de consumul biochimic, consumul chimic de oxigen, cauzat de oxidarea substanțelor organice (taninuri, lignine, acizi humici), a compușilor sulfuroși (sulfuri, tiouree), a unor complexe minerale, a ecotoxicanților și a xenobioticelor, duce la un deficit semnificativ al oxigenului.

Pentru a restabili echilibrul oxigenului dizolvat după confluența cu fluxul fără oxigen al Bâcului, fluviul Nistru are nevoie de un potențial ridicat de autopurificare, care este garantat de întregul complex hidrochimic și hidrobiologic al acestui ecosistem lotic [12]. Recuperarea oxigenului este mai eficientă la temperaturi scăzute ale apei (iarna și primăvara) și mai puțin eficientă în perioadele cu temperaturi ridicate și secete hidrologice.

Consumul biochimic de oxigen. Un alt indicatorul important al regimului de oxigen este consumul biochimic de oxigen (CBO, mgO/L). Programele de monitorizare a corpurilor de apă de suprafață utilizează o versiune de CBO_5, care simulează în condiții de laborator procesul de biodegradare de către bacterioplancton a substanțelor organice în probă analizată pe parcursul a 5 zile de incubare. Clasificarea corpurilor de apă în funcție de parametrul CBO_5 în *Regulamentul* național începe de la 3 mgO/L – clasa de calitate I, și mai departe: 5 mgO/L – clasa II, 6 mgO/L – clasa III, 7 mgO/L – clasa IV, > 7 mgO/L – clasa V. În perioada analizată, valorile parametrului CBO_5 în râurile Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte și în aval de confluență au variat în intervalul 1,3-39,6 (mgO/L) vara, 0,5-4,4 (mgO/L) toamna, 0,8-2,7 (mgO/L) iarna și 1,4-17,6 (mgO/L) primăvara (Tab. 1). Variațiile sezoniere sunt prezentate în Figura 5.

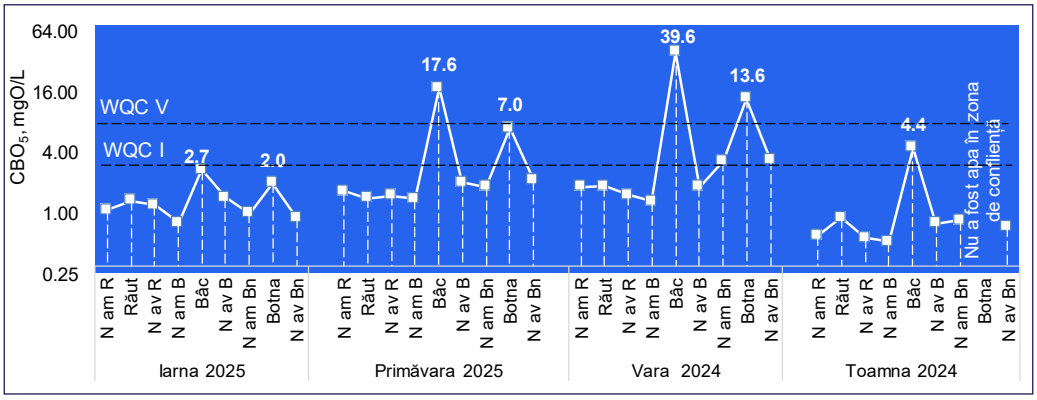


Figura 5. Variațiile sezoniere ale parametrului CBO_5 în apa râurilor Răut, Bâc, Botna și Nistru în amonte/aval de confluență, comparativ cu valorile-limită claselor de calitate I și V.

Conform parametrului CBO_5, apa din râurile Nistru și Răut în toate sezoanele analizate corespund clasei de calitate I. Conținutul de substanțe organice biodegradabile în apa râului Botna a corespuns valorii-limită a clasei V în primăvară, a depășit-o deja în vară, iar în toamnă nu a fost apă în gura râului. În conformitate cu parametrul CBO_5, care este normalizat pentru apele epurate deversate în corpurile de apă naturale, apa râului Bâc a îndeplinit clasa de calitate I numai iarna, la temperaturi scăzute ale apei. Primăvara, valoarea CBO_5 în apa Bâcului a depășit valoarea-limită a clasei V de 2,5 ori, iar vara – de peste 5 ori. Și în timp ce în alte anotimpuri factorul de diluție și potențialul de auto-recuperare al ecosistemului Nistrului asigură menținerea clasei I privind acest indicator de calitate, în perioada de vară cu debitul scăzut de apă acest potențial nu mai este suficient.

CONCLUZII

Analiza datelor prezentate demonstrează prezența dinamicii sezoniere a temperaturii apei în sectorul moldovenesc al fluviului Nistru în aval de barajul lacului de acumula-

re Dubăsari, precum și în afluenții săi de dreapta Răut, Bâc și Botna. Influența afluenților asupra temperaturii apei Nistrului este pronunțată în perioada Apelor Mari de Primăvara și practic lipsesc în perioada de secetă hidrologică.

Valorile pH-ului în apa Nistrului și a afluenților Răut, Bâc și Botna variază în cadrul claselor de calitate I și II. Dinamica sezonieră este slab pronunțată. Fluctuațiile locale ale parametrului pH se datorează în principal intensității de utilizare a acestor cursuri de apă și a ceea ce este evacuat în ele după utilizare.

Parametrii regimului de oxigen al Nistrului și al afluenților Răut, Bâc și Botna luați în considerare în această lucrare ne permit să diferențiem doar două sezoane pentru parametrul oxigen dizolvat (iarnă/primăvară și vară/toamnă) și nicio dinamică sezonieră pentru parametrul CBO_5. Calitatea apei variază de la I la V, iar valorile critice ale regimului de oxigen se înregistrează în mod stabil pentru râul Bâc.

După afluența cursului de apă cu un regim de oxigen atât de critic, întregul potențial hidrochimic și hidrobiologic al Nistrului ar trebui să fie activat pentru a restabili echilibrul de oxigen dizolvat și mineralizarea încărcăturii organice. Recuperarea este mai eficientă în timpul debitelor bune și al temperaturilor scăzute ale apei (iarna și primăvara) și mai puțin eficientă în timpul perioadelor cu temperaturi ridicate și secete hidrologice.

REFERINȚE:

1. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition. London, 1996, p. 19. Disponibil on line: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf;jsessionid=806A4651201AEBB8D53FFA3EF501D9B9?sequence=1
2. Planul de gestionare a Districtului Bazinului Hidrografic Nistru, ciclul II (2024-2029). Ministerul Mediului al Republicii Moldova. Disponibil on line: https://www.mediu.gov.md/sites/default/files/Documente%20atasate%20Advance%20Pagines/Nistru_Plan%20ajustat%20dupa%20avizare.pdf
3. Serviciul Hidrometeorologic de Stat. Caracteristica hidrologică. Anuar 2022. Chișinău, 2023. Disponibil on line: https://www.meteo.md/images/uploads/Hydro/anuar%20final%202022.pdf
4. Serviciul Hidrometeorologic de Stat. Caracteristica regimului hidrologic pe teritoriul Republicii Moldova în perioada de primăvară a anului 2025. Disponibil on line: https://www.meteo.md/images/uploads/Hydro/caracteristica/prim%C4%83vara_2025.pdf
5. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.24th edition: 5210 Biochemical Oxygen Demand (BOD). Disponibil on line: https://www.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-biochemical-oxygen-demand-white-paper.pdf

6. SM EN ISO 5815-1:2020 Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după *n* zile (BODn). Partea 1: Metoda prin diluare și însămânțare cu adăugare de aliltiouree. Chișinău, Institutul de Standardizare din Moldova, 2020.
7. Regulamentul cu privire la cerințele de calitate pentru apele de suprafață. HG RM nr. 890 din 12.11.2013. Chișinău: Monitorul Oficial nr. 262 - 267, 22 noiembrie 2013.
8. КОРОБОВ, Р., ТРОМБИЦКИЙ, И., СЫРОДОЕВ, Г., АНДРЕЕВ, А. Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра. Кишинев: Eco-TIRAS, 2014. Disponibil on line: https://www.eco-tiras.org/docs/ecotirasFinal-small.pdf
9. JURMINSKAIA, O., ŞUBERNEŢKII, I. Starea actuală a Nistrului Inferior și a afluenților săi de dreapta pe teritoriul Republicii Moldova în primăvara anului 2024. În: *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare". Științe exacte și ale naturii*. Chișinău, Universitatea de Stat din Moldova, 2024, pp. 459 – 463. Disponibil on line: https://doi.org/10.59295/spd2024n.64
10. TIMMONS, M. B., EBELING, J. M. Water Quality: Water Quality Parameters. In: *Recirculating Aquaculture Systems*. Hamburg, Cayuga Aqua Ventures, 2010, pp. 50 - 66.
11. JURMINSKAIA, O., BAGRIN, N., ZUBCOV, E. Comparative analysis of acid-neutralizing capacity of rivers in the Republic of Moldova. In: *Conference "Environmental Toxicants in Freshwater and Marine Ecosystems in the Black Sea Basin"*. Kavala, Grecia, 2020. pp. 67-69. Disponibil on line: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/67-69_23.pdf
12. JURMINSKAIA, O. Assessment of the potential of the Dniester River and its tributary to recover the oxygen concentration. In: Proceedings of International Conference Transboundary Dniester River Basin management: platform for cooperation and current challenges. Tiraspol: ECO-TIRAS, 2017, pp. 109 – 113. Disponibil on line: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/109-113_30.pdf

N.B. *Investigațiile ecosistemelor lotice din bazinul Nistrului Inferior au fost realizate în cadrul proiectului "ECOTOX" (2024-2026), implementat de AO Societatea Ecotoxicologilor din Republica Moldova cu finanțarea de la Oficiul Național de Implementare a Proiectelor în domeniul Mediului (ONIPM), și al subprogramului 010701 "ZOOAQUATERRA" (2024-2027) al Universității de Stat din Moldova, implementat de Institutul de Zoologie.*

EVALUAREA SONDELOR ȘI SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APELOR SUBTERANE DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA

EVALUATION OF WELLS AND GROUNDWATER DISTRIBUTION SYSTEMS IN THE SOUTHERN REGION OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 551.444(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.62**

Patricia MORARU
ORCID: 0009-0003-4727-659X
E-mail: morarupatricia752002@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This paper examines the current status of groundwater abstraction infrastructure in the Southern Development Region of the Republic of Moldova, focusing on the evolution and functionality of wells, boreholes, and springs during the period 2014–2024. Based on official data from environmental and regional institutions, the study identifies major territorial disparities in the exploitation and maintenance of decentralized water sources. Although over 1,400 boreholes are recorded in the region, less than 55% are actively used, and a significant share of wells and springs remain unmaintained, posing risks to public health. The analysis also highlights the uneven distribution of investment and institutional capacity at the local level, with only a few districts showing sustained efforts in infrastructure modernization. The findings underline the urgent need for integrated regional interventions to rehabilitate existing systems, protect natural water sources, and improve the administrative capacity of local authorities. A comprehensive and sustainable groundwater management strategy is essential to ensure safe, equitable, and long-term access to drinking water for rural communities in southern Moldova.*

Keywords: *boreholes, groundwater, springs, wells, Southern Region of the Republic of Moldova.*

INTRODUCERE

În contextul actual al schimbărilor climatice și al presiunii crescânde asupra resurselor naturale, monitorizarea și gestionarea durabilă a apelor subterane devine o prioritate strategică pentru Regiunea de Sud a Republicii Moldova. Această regiune, preponderent agrară, depinde în mare măsură de sursele descentralizate de apă, precum fântânile și izvoarele și alte surse de apă cum ar fi sondele în special în zonele unde infrastructura centralizată de aprovizionare cu apă este insuficient dezvoltată. Apele subterane constituie sursa principală pentru consumul potabil, menajer și agricol al comunităților locale, iar starea infrastructurii de captare influențează direct calitatea vieții și sănătatea populației.

Studiul de față își propune să evalueze dinamica sondelor, starea acestora, precum și gradul de funcționalitate al fântânilor și izvoarelor în perioada 2014–2024. Se urmărește evidențierea tendințelor teritoriale privind exploatarea și degradarea surselor, identificarea deficiențelor în gestionarea acestora și formularea unor direcții de intervenție strategică pentru consolidarea sistemului descentralizat de alimentare cu apă în regiune.

MATERIALE ȘI METODE

Studiul se bazează pe analiza datelor din anuarele Inspectoratului pentru Protecția Mediului IPM din perioada anilor 2014–2024 . Indicatorii analizați includ: numărul total de sonde înregistrate, procentul celor exploatate, destinația utilizării acestora (potabilă, menajeră, industrială, agricolă, curativă), precum și distribuția lor teritorială pe raioane. Pentru fântâni și izvoare, au fost analizate datele disponibile pentru anul 2018, cu accent pe proporția celor amenajate și distribuția acestora în teritoriu. Datele au fost prelucrate statistic și comparativ pentru a evidenția tendințele recente ale indicatorilor analizați.

Au fost utilizate și următoarele metode:

Metoda statistică a fost utilizată în această cercetare pentru a analiza datele obținute privind starea, distribuția și modul de utilizare atât a sondelor cât și fântânilor și izvoarelor din Regiunea de Sud. Scopul aplicării acestei metode este identificarea tendințelor, a corelațiilor și a nivelului de conformitate a practicilor curente cu normele de mediu și sănătate publică.

Metoda deductivă a fost folosită pentru a analiza situația actuală a sondelor, fântânilor și izvoarelor, pornind de la ipoteze formulate în baza realităților observabile în teren și în baza datelor statistice.

Metoda comparativă a fost utilizată pentru evaluarea și selecția celor mai eficiente soluții de gestionare a sondelor, în special în zonele unde infrastructura nu este disponibilă sau nu este viabilă.

Această metodă presupune compararea mai multor tehnologii și soluții alternative, ținând cont de o serie de criterii, precum costurile, eficiența, impactul asupra mediului, necesarul de întreținere, și ușurința de implementare.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pe parcursul deceniului 2014–2024, rețeaua de monitorizare hidrogeologică din Regiunea de Sud a parcurs trei etape distincte, cu variații de amploare moderată, dar relevante pentru înțelegerea modului în care au fost mobilizate resursele pentru studierea apelor subterane.

Pe parcursul deceniului 2014–2024, rețeaua de monitorizare hidrogeologică din Regiunea de Sud a parcurs trei etape distincte, cu variații de amploare moderată, dar relevante pentru înțelegerea modului în care au fost mobilizate resursele pentru studierea apelor subterane. În primii ani (2014–2017), după activitățile de inventariere inițială, numărul de sonde a stagnat în jurul valorii de 1422–1424, marcând o perioadă de con-

solidare a capacității existente. Astfel, în 2014 şi 2015 rețeaua includea 1422 de sonde, iar după lucrări de modernizare ușoară în 2016–2017 se ajunge la 1425, respectiv 1424 de sonde [1;2;3;4].

O creștere semnificativă s-a înregistrat în 2018, când, sub impulsul proiectelor UE de evaluare integrată şi al demarării Planului Național de Management Integrat al Apei (2018–2022), au fost săpate foraje noi pentru parametrii hidrodinamici şi ecologici. Numărul sondelor a urcat la 1 433 în 2018 şi a rămas același în 2019, reprezentând un maxim decenal cu o creştere de 9 sonde (≈0,6 %) față de 2017 [5;6].

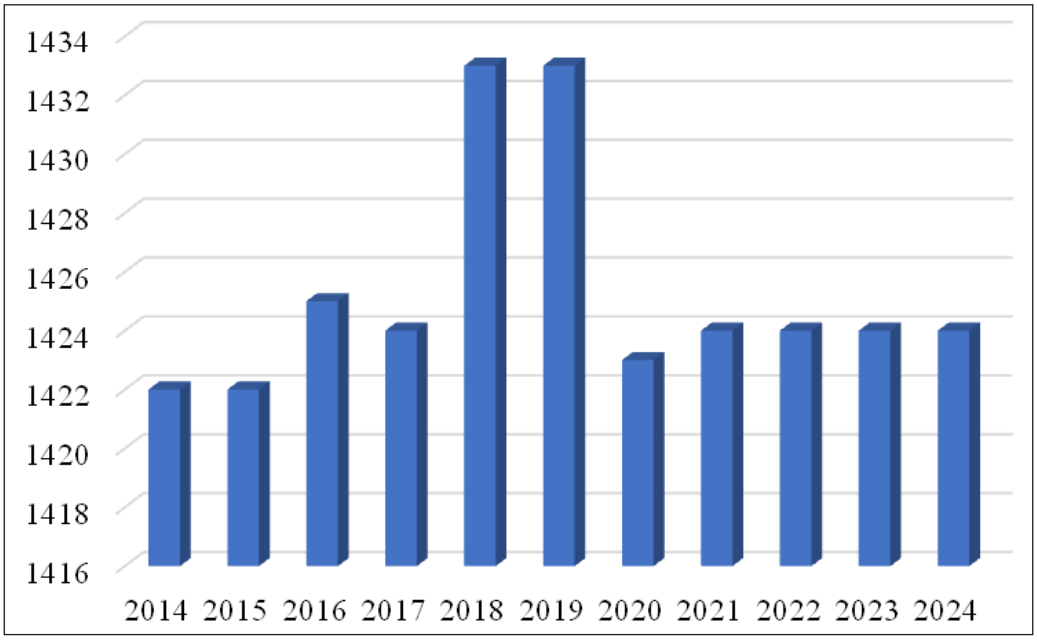


Figura 1. Dinamica numărului de sonde din Regiunii de Sud a Republicii Moldova, anii 2014-2024 (în unități).

Sursa: elaborat de autor conform datelor IPM [1;2;3;4;5;6;7;8;9;10]

În 2020, odată cu necesitatea redirecționării bugetelor către gestionarea priorităților sanitare şi logistice, rețeaua a suferit o reducere uşoară la 1 423 de sonde. Această revenire la aproximativ nivelul din 2017 reflectă amânarea operațiunilor de întreținere şi foraj [7]. În ansamblu, media de creştere a reţelei a fost de doar 0,2 % pe an, reflectând o strategie de consolidare şi optimizare a capacităţii existente, care prioritizează calitatea datelor şi eficienţa operaţională în cadrul politicilor ecologice regionale.

Această dinamică subliniază alternanța dintre fazele de extindere dictate de cerinţele proiectelor de cercetare şi management integrat şi perioadele de optimizare bugetară, toate în slujba unei politici ecologice proactive, menite să asigure date robuste pentru protejarea şi folosirea durabilă a resurselor de apă subterană.

Tabelul 1. Starea sondelor arteziene în Regiunea de Sud, anul 2024.

Nr. or	Raionul	Numărul Total	Exploatate							
			Total		Destinație					Autorizate
			Unități	%	Potabilă	Menajeră	Curativă	Necesități agricole	Menire Industrială	
1	Basarabeasca	49	39	80	30	6		3		5
2	Cahul	166	121	73	109		7	1	4	14
3	Cantemir	79	46	58	13	22		6	5	1
4	Căușeni	234	107	46	82	8		1	16	1
5	Cimișlia	151	95	63	89	3		3		6
6	Leova	108	25	23	8	8			9	8
7	Ștefan Vodă	184	95	52	2	83	1		9	19
8	Taraclia	126	56	44		45		2	9	17
9	U.T.A. Găgăuzia	327	181	55	10	171				39
RD Sud Total		**1424**	**765**	**54**	**343**	**346**	**8**	**16**	**52**	**110**

Sursa: elaborat de autor conform datelor IPM, anul 2024 [11]

Conform datelor IPM, pe teritoriul Regiunii de Sud sunt înregistrate 1424 sonde de foraj, dintre care doar 54 % (765 unități) sunt exploatate. Cele mai multe sonde sunt amplasate în U.T.A. Găgăuzia (327) și raionul Căușeni (234). Din cele 765 sonde exploatate, peste 44,8 % au destinație potabilă, 45,2 % au destinație menajeră, 6,8 % cu menire industrială și 2,1 % în necesități agricole. Doar 8 sonde au destinație curativă ,acestea fiind amplasate în raioanele Cahul cu o pondere de 7 la număr și Ștefan Vodă cu 1 sondă de acest tip. În ansamblu, 46,3 % din cele 1 424 sonde nu sunt exploatate, cu o pondere a neexploatării care atinge aproximativ 77 % în raionul Leova, circa 54 % în Căușeni și doar 20 % în Basarabeasca [11].

Prezența unui număr destul de mare de sonde neexploatate ne demonstrează nu doar uzarea avansată a acestor obiective hidrotehnice, falimentarea și dispariția de pe piața locală a multor întreprinderi agricole, miniere și a industriei prelucrătoare , resurse financiare insuficiente s-au gestionate ineficient a acestora de către APL-uri în acest scop, dar și faptul că nu s-au stabilit corect amplasarea sondelor în conformitate cu legislația națională și cu normativele ecologice și sanitare [12].

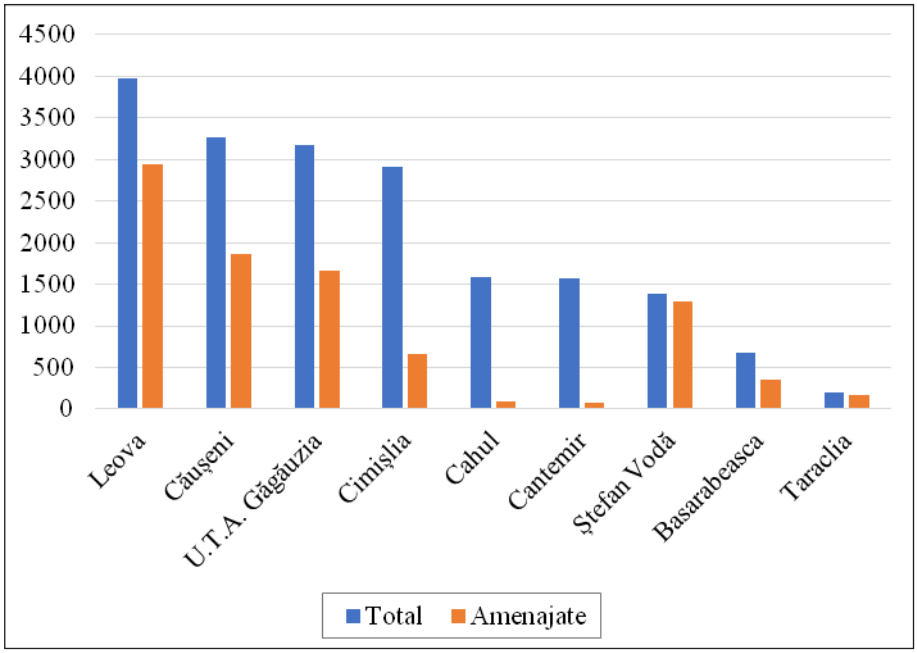


Figura 2. Numărul și starea fântânilor din Regiunea de Sud , anul 2018.

Sursa: elaborat de autor conform datelor IPM, anul 2018 [5]

La nivel de localități, numărul de fântâni depinde atât de dimensiunile satelor componente, accesul la aprovizionarea centralizată cu apă, cât și de volumul disponibil și caracteristicile de depozitare a rezervelor de ape freatice [14]. Factorii care determină densitatea acestor fântâni țin de: dimensiunea satelor, adâncimea pânzei freatice, lipsa rețelelor centralizate de distribuție, condițiile geologice favorabile, precum și de volumul redus de precipitații, care impune captarea resurselor subterane. Utilizarea frecventă a apelor subterane ca sursă de consum rămâne o practică răspândită în satele Republicii Moldova, în special prin intermediul fântânilor și izvoarelor, mai ales în zonele lipsite de rețele centralizate de alimentare cu apă. În localitățile rurale, fântânile de mică adâncime (10–50 m) și izvoarele reprezintă principala formă de acces la apă potabilă, fiind esențiale pentru gospodăriile care nu dispun de infrastructură publică [5].

În Regiunea de Dezvoltare Sud a Republicii Moldova sunt înregistrate, conform datelor din 2018, un total de 18.747 fântâni, dintre care 9.124 (48,7%) sunt amenajate. Această pondere reflectă un nivel mediu de intervenție în infrastructura descentralizată de aprovizionare cu apă, însă cu variații teritoriale semnificative de la un raion la altul. Ponderea fântânilor amenajate variază între doar 4,8% în raionul Cahul, unde din 1.592 de fântâni doar 95 sunt amenajate, și aproape 74% în raionul Leova, unde dintr-un total de 3.975 fântâni, 2.937 sunt deja dotate cu elemente de protecție, igienizare și acces sigur. (figura 2).

Aceste date indică o concentrare a investițiilor și a eforturilor de reabilitare în raioanele unde dependența comunităților rurale de surse necentralizate este mai accentuată [5].

Numărul mare de fântâni ne demonstrează un consum masiv al apei potabile, care nu este supus evidenței de stat. Cele mai multe fântâni se atestă în raioanele Leova (3.975), Căușeni (3.266) și U.T.A. Găgăuzia (3.167), ceea ce confirmă o presiune ridicată asupra acviferelor locale și necesitatea unui management durabil al surselor subterane. Totuși, în lipsa unor măsuri de întreținere și protejare, degradarea fântânilor devine un fenomen tot mai frecvent, fiind cauzată de: depuneri de sedimente, colmatare, contaminare cu nitrați din surse agricole și menajere, lipsa curățării regulate și distrugerea mecanică a structurii de captare. În plus, utilizarea necontrolată a acestor surse pentru irigații și lipsa unei reglementări clare au dus la o tendință negativă în dinamică: în unele raioane, cum este cazul Taracliei sau raionului Basarabeasca, se constată o reducere treptată a numărului de fântâni funcționale sau menținerea lor într-o stare avansată de degradare [5].

Astfel, în contextul actual al surselor de apă din Regiunea de Sud subliniază nevoia urgentă de intervenție sistemică, atât prin reabilitarea fântânilor existente, cât și prin consolidarea capacităților administrative locale de a gestiona și monitoriza aceste surse în beneficiul sănătății și siguranței comunităților.

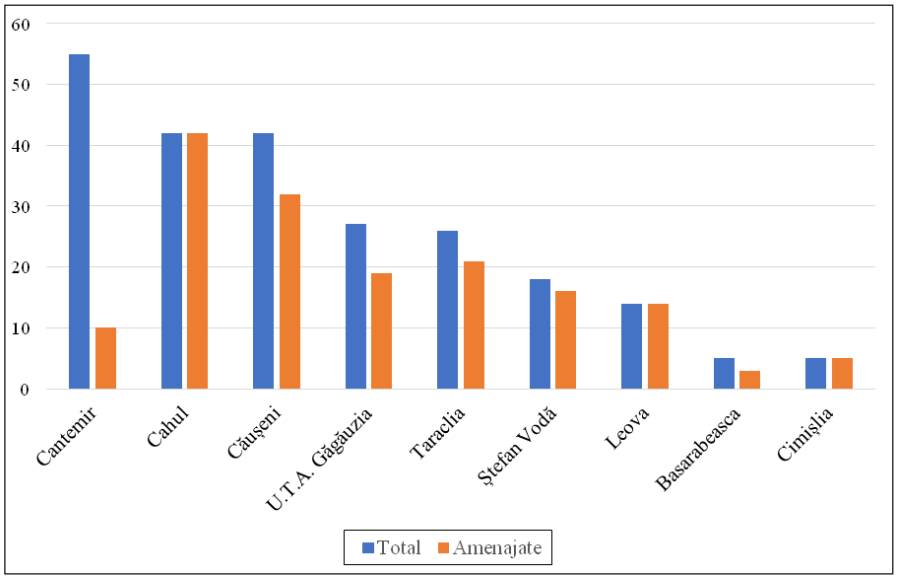


Figura 3. Numărul și starea izvoarelor din Regiunea de Sud , anul 2018.

Sursa: elaborat de autor conform datelor IPM, anul 2018 [5]

În Regiunea de Dezvoltare Sud, izvoarele reprezintă o componentă importantă a sistemului de aprovizionare descentralizată cu apă, în special în zonele rurale , unde alimentarea centralizată lipsește sau este insuficientă. Situația evidențiată în anul 2018

relevă un grad semnificativ de neuniformitate în distribuția și amenajarea acestor surse [5].

Raionul Cantemir deține cel mai mare număr de izvoare (55), însă doar 10 dintre acestea sunt amenajate, ceea ce reflectă o pondere extrem de redusă de aproximativ 18% și un risc crescut de contaminare sau acces impropriu. În contrast, raioanele Cahul și Căușeni se remarcă printr-o valorificare aproape completă a resurselor din 42 de izvoare, majoritatea sunt deja amenajate, ceea ce indică un grad ridicat de implicare locală în protejarea și igienizarea surselor de apă [5].

În U.T.A. Găgăuzia și raionul Taraclia, se înregistrează un număr moderat de izvoare (42 și respectiv 26), dintre care o parte importantă sunt funcționale (33 în Găgăuzia și 21 în Taraclia), demonstrând un echilibru relativ între resursă și intervenții de întreținere. Raioanele Ștefan Vodă și Leova, cu un total de 18 și 14 izvoare, mențin o proporție bună între numărul total și cel al izvoarelor amenajate, ponderea fiind apropiată de 80–100% (figura 3).

La polul opus, raioanele Basarabeasca și Cimișlia dispun de un număr foarte mic de izvoare (5 fiecare), ceea ce reflectă fie condiții geomorfologice mai puțin favorabile pentru apariția izvoarelor, fie o inventariere incompletă sau abandonul acestora în lipsa întreținerii [5].

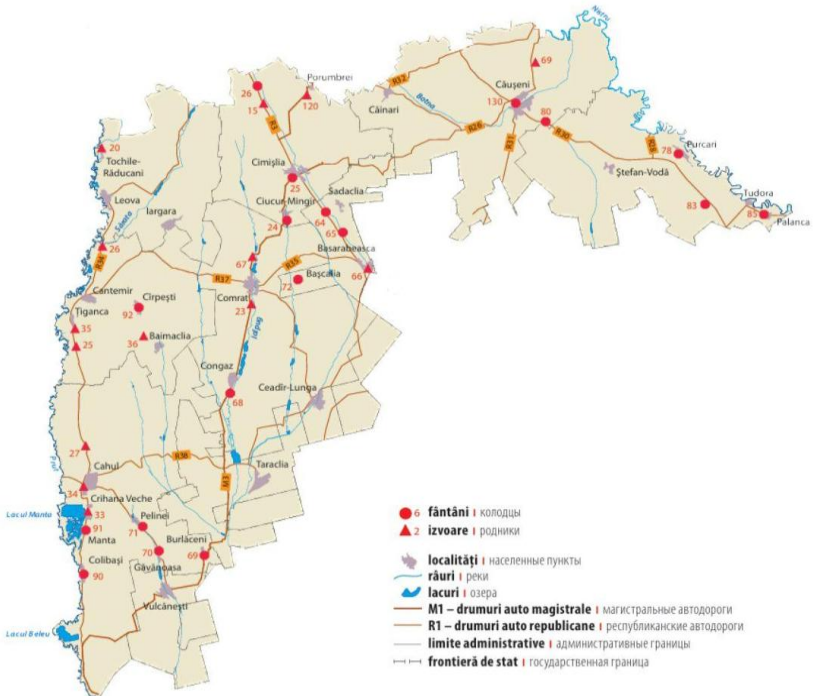


Figura 4. Principalele fântâni și izvoare din Regiunea de Sud.

Sursa: [13]

Aceste date demonstrează existența unui sistem descentralizat de captare a apei cu importanță vitală pentru populația din Regiunea de Sud, dar și cu vulnerabilități accentuate în ceea ce privește siguranța și calitatea surselor. Amenajarea insuficientă a izvoarelor în special în raioanele cu densitate ridicată reprezintă un factor de risc pentru sănătatea publică și impune măsuri urgente de monitorizare, protecție perimetrală și modernizare a acestor captări naturale [5].

CONCLUZII

Analiza sistemului de captare a apelor subterane din Regiunea de Sud a Republicii Moldova evidențiază o infrastructură fragmentată, cu diferențe semnificative între raioane atât în ceea ce privește numărul de obiective funcționale, cât și nivelul de întreținere și valorificare. Deși regiunea dispune de o rețea extinsă de sonde (1.424 unități), doar puțin peste jumătate (54%) sunt exploatate, reflectând dificultăți economice, lipsa investițiilor și deficiențe în administrarea locală [11].

Distribuția neuniformă a fântânilor și izvoarelor amenajate relevă priorități inegale în alocarea resurselor, cu exemple pozitive în raioanele Leova și Căușeni, dar și vulnerabilități grave în raioanele precum Cahul, Cantemir sau Cimișlia. Situația fântânilor demonstrează o presiune accentuată asupra acviferelor, amplificată de lipsa rețelelor centralizate, în timp ce ponderea mare a izvoarelor neamenajate ridică semne de întrebare asupra siguranței apei consumate în unele localități.

În ansamblu, cercetarea acestui compartiment indică necesitatea unei intervenții coordonate la nivel regional, prin: modernizarea sondelor existente, protejarea fântânilor și izvoarelor, investiții în infrastructura de aprovizionare cu apă, dar și prin consolidarea capacității instituționale a autorităților publice locale. O abordare integrată, susținută de politici publice și fonduri europene, este esențială pentru asigurarea unui acces sigur, echitabil și durabil la resursele de apă subterană în Sudul Republicii Moldova.

REFERINȚE:

1. Anuarul IES – 2014. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2015. 336 p.
2. Anuarul IES – 2015. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2016. 348 p.
3. Anuarul IES – 2016. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2017. 364 p.
4. Anuarul IES – 2017. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2018. 392 p.
5. Anuarul IPM – 2018. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2019.346 p.
6. Anuarul IPM – 2019. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2020. 500p.

7. Anuarul IPM – 2020. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2021. 380p.
8. Anuarul IPM – 2021. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău. Ed.Pontos. 2022. 388p.
9. Anuarul IPM – 2022. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău 2023. 386 p.
10. Anuarul IPM – 2023. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău 2024. 358 p.
11. Anuarul IPM – 2024. *Protecția Mediului în Republica Moldova*. Chișinău 2025. 294 p.
12. HÂNCU C., NIȚESCU C. Amenajări hidrotehnice. Constanța., 2016. Tipogr. Ovidius University Press. 206 p. 58
13. OVERCENCO A., MIHĂILESCU C., BOGDEVICI O., GÎLCĂ G. Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Fântâni și izvoare. Atlas Ecologic. (ro/ru), Chișinău: Știința, 2008. 208 p.
14. ЩЕРБАКОВА В.Н., ЖЕЛЯПОВ В.И. Изучение режима и элементов баланса подземных вод, государственный учет и ведение ГВК на территории Республики Молдова за 2005 – 2009 гг. 206 p.

N.B.*Mulțumiri: Lucrarea a fost susținută de subprogramul 010801 „Sporirea securității ecologice și rezilienței geoecosistemelor la modificările actuale de mediu”.*

ASPECTE PRIVIND CONSERVAREA BIODIVERSITĂȚII ÎN SITUL EMERALD „LACURILE PRUTULUI DE JOS”

ASPECTS OF BIODIVERSITY CONSERVATION IN THE EMERALD SITE “LOWER PRUT LAKES”

CZU: 574.1:502.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.63**

Viorica PALADI
ORCID: 0009-0005-0515-0723
E-mail: vioricapaladi.c@gmail.com
Rezervația Științifică “Prutul de Jos”, Republica Moldova

Ala DONICA
ORCID: 0000-0003-3308-8048
E-mail: aladonica1980@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Polina CASSIR
ORCID: 0000-0003-1434-080X
E-mail: cassirpolina@gmail.com
Rezervația Științifică “Prutul de Jos”, Republica Moldova

Summary. *The Emerald Network presents a network of protected areas focused on ensuring the long-term survival of species and natural habitats, established through the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Bern Convention, 1979). The Emerald Network in Moldova currently includes 61 adopted sites, means it covers 8.1% of the country's territory (preserving 167 species of animals and plants and 32 habitats of European importance). The paper analyzed data from the most recent scientific studies on biodiversity in this Emerald site, and synthesized data collected in various own field studies, to compile the full list of species listed in various annexes of the Bern Convention (1979). According to Resolution No. 6, to the Bern Convention, 1979 (which lists species requiring specific habitat conservation measures), we indicate that the Emerald site "Lower Prut Lakes" presents favorable habitat for the development of a plant species - Crambe tataria and 76 fauna species. These data can serve as a basic information source in the evaluations of biogeographic seminars at regional/national level, framed in the assessments regarding the species sufficiency index and for the biodiversity conservation's appropriate measures.*

Keywords: *Emerald Network, protected species, Emerald site "Lower Prut Lakes".*

INTRODUCERE

Republica Moldova a aderat la Convenția privind conservarea vieții sălbatice și a habitatelor naturale din Europa (Convenția de la Berna, 1979) în anul 1994 [1], iar din anul

2017, Rețeaua Emerald a fost legiferată prin modificarea Legii 94/2007 privind rețeaua ecologică [2], completată ulterior (în anul 2023) cu prevederi adiționale stipulate de către Directiva 92/43/CEE din 21 mai 1992 cu privire la conservarea habitatelor naturale și a speciilor de floră și faună sălbatică. *Rețeaua Emerald* prezintă o rețea ecologică, constituită din zone speciale de conservare, fiind parte componentă din rețeaua ecologică națională și reprezintă extinderea în țările ne-membre ale Uniunii Europene, a rețelei ecologice europene, coerente zonelor speciale de conservare „NATURA 2000". Teritoriul sitului Emerald „Lacurile Prutului de Jos" cuprinde habitate și peisaje naturale, unite fizic și funcțional, cu o deosebită importanță din punct de vedere științific și estetic, al valorii și conservării diversității biologice și al menținerii balanței geosistemice. De aceea, evaluarea tipurilor de habitate naturale și a speciilor de floră și faună sălbatică, precum și elaborarea planurilor de management pentru siturile Emerald sunt acțiuni necesare în conservarea biodiversității și promovarea sustenabilității în regiune. În urma cercetărilor proprii, realizate în cadrul secției Știință a Rezervației Științifice „Prutul de Jos", dar și a celor mai recente studii în acest areal, propunem o listă actualizată și completată a speciilor rare, prezente în situl Emerald „Lacurile Prutului de Jos", listă care, cu siguranță, va fi discutată și completată în următorul seminar biogeografic, la nivel de țară, dar care, totodată, poate servi ca reper în studiile de monitoring ecologic din regiune.

MATERIAL ȘI METODĂ

Situl Emerald „Lacurile Prutului de Jos" (Codul Site-ului: MD0000012) prezintă o zonă de interes special pentru conservarea habitatelor și a speciilor rare [3], fiind amplasată în partea de sud-vest a Republicii Moldova, în lunca râului Prut, pe o suprafață de 16420 ha (Fig.1).

Prin acest studiu, s-au analizat datele celor mai recente cercetări științifice privind biodiversitatea din regiune [4, 5, 6, 7, 8 ,9, 10], și sintetizate datele colectate în diverse studii, proprii, din teren [11, 12, 13, 14, 15, 16], pentru a alcătui lista integrală a speciilor enumerate în diverse anexe ale Convenției de la Berna (1979).

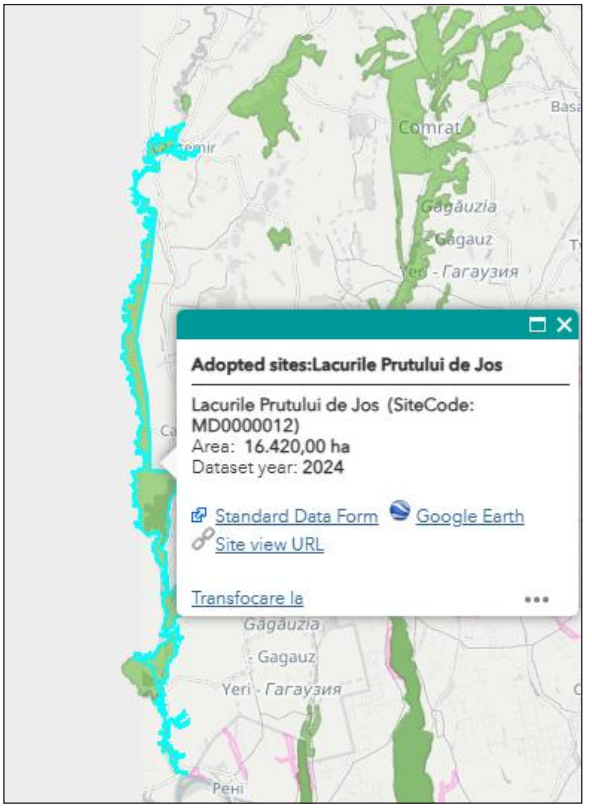


Figura 1. Limitele sitului EMERALD „Vila Nisporeni" „Lacurile Prutului de Jos" (conform Emerald Network- General Viewer -[3])

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Siturile Emerald din Republica Moldova, formate preponderent pe teritorii protejate (arii natural protejate la nivel național prin Legea Nr.1538/1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat) adăpostesc ecosisteme cu concentrații de biodiversitate semnificative la nivel global, regional sau național și prezintă refugiu pentru diverse specii rare, amenințate, periclitate [17,18]. Aceste specii sunt ocrotite de stat, fiind incluse în Anexa 3 a Legii Nr.1538/1998 și în Cartea Roșie a Republicii Moldova (2015). Totodată, siturile Emerald prezintă condiții favorabile pentru conservarea păsărilor, în așa numitele - zone importante pentru păsări și biodiversitate [19, 20].

Conform datelor din forma standard a site-ului Emerald „Lacurile Prutului de Jos" (Standard Data Form -SDF), au fost înregistrate 9 habitate de interes conservativ și un număr important de specii de floră și fauna sălbatică (circa 60 specii) - [3]. Analizând lista oficială de pe site-ul Agenției Europene de Mediu, și comparându-le cu datele sintetizate din literatura de specialitate de către noi, inclusiv și datele din teren, propunem **lista completă, cu denumirea științifică a speciilor (sp.) prezente în situl Emerald „Lacurile Prutului de Jos",** *informație care poate fi consultată în secția Știință, a Rezervației Științifice „Prutul de Jos",* și anume:

- specii incluse în Anexa I a Convenției Berna, 1979 (Appendix I – STRICTLY PROTECTED FLORA SPECIES): *Salvinia natans* (L.) All.; *Trapa natans* L.
- specii incluse în Anexa II a Convenției Berna, 1979 (Appendix II – STRICTLY PROTECTED FAUNA SPECIES):

Mamifere: Chiroptera – *Vespertilionidae* (7 specii); Rodentia – *Sciuridae* (1 sp.); *Muridae* (1 sp.); Carnivora – *Mustelidae* (2 sp.); *Felidae* (1 sp.).

Păsări: Gaviiformes – *Gaviidae* (2 sp.); Podicipediformes – *Podicipedidae* (4 sp.); Suliformes – *Phalacrocoracidae* (1 sp.); Pelecaniformes – *Pelecanidae* (2 sp.); *Ardeidae* (8 sp.); *Threskiornithidae* (2 sp.); Ciconiiformes – *Ciconiidae* (2 sp.); Anseriformes – *Anatidae* (7 sp.); Accipitriformes – *Accipitridae* (19 sp.); Falconiformes – *Falconidae* (6 sp.); Gruiformes – *Gruidae* (1 sp.); *Rallidae* (4 sp.); Charadriiformes – *Charadriidae* (3 sp.); *Scolopacidae* (12 sp.); *Recurvirostridae* (2 sp.); *Glareolidae* (1 sp.); *Laridae* (7 sp.); Strigiformes – *Tytonidae* (1 sp.); *Strigidae* (5 sp.); Caprimulgiformes – *Caprimulgidae* (1 sp.); Coraciiformes – *Alcedinidae* (1 sp.); *Meropidae* (1 sp.); *Coraciidae* (1 sp.); *Upopidae* (1 sp.); Piciformes – *Picidae* (8 sp.); Passeriformes – *Alaudidae* (1 sp.); *Hirundinidae* (3 sp.); *Motacillidae* (6 sp.); *Laniidae* (3 sp.); *Bombycillidae* (1 sp.); *Troglodytidae* (1 sp.); *Sylviidae* (5 sp.); *Regulidae* (1 sp.); *Muscicapidae* (14 sp.); *Panuridae* (1 sp.); *Paridae* (4 sp.); *Sittidae* (1 sp.); *Certhiidae* (1 sp.); *Emberizidae* (3 sp.); *Fringillidae* (4 sp.); *Sturnidae* (1 sp.); *Oriolidae* (1 sp.).

Reptile: Testudines – *Emydidae* (1 sp.); *Lacertidae* (3 sp.); Ophida – *Colubridae* (3 sp.).

Amfibieni: Caudata – *Salamandridae* (3 sp.); Anura - *Discoglossidae* (1 sp.); *Bufonidae* (1 sp.); *Pelobatidae* (1 sp.); *Hylidae* (1 sp.).

Pești: Esociformes - *Umbridae* (1 sp.).

Insecte: Lepidoptera – *Nymphalidae* (1 sp.); *Lycaenidae* (1 sp.); *Papilionidae* (1 sp.).

- ❖ specii incluse în Anexa III a Convenției Berna, 1979 (Appendix III – PROTECTED FAUNA SPECIES):

Mamifere: Insectivora – *Soricidae* (5 sp.); Chiroptera – *Vespertilionidae* (1 sp.); Logomorpha – *Leporidae* (1 sp.); Rodentia - *Sciuridae* (1 sp.); *Castoridae* (1 sp.); *Gliridae* (2 sp.); Carnivora – *Canidae* (1 sp.); *Mustelidae* (6 sp.); Artiodactyla – *Cervidae* (1 sp.).

Păsări: Toate speciile, neincluse în Anexa II. Situl Emerald "Lacurile Prutului de Jos" prezintă habitat favorabil și pentru specii din Galliformes - *Phasianidae* (3 sp.); Anseriformes – *Anatidae* (19 sp.); Suliformes – *Phalacrocoracidae* (1 sp.); Pelecaniformes – *Pelecanidae* (1 sp.); Gruiformes - *Rallidae* (3 sp.); Charadriiformes – *Scolopacidae* (10 sp.); *Charadriidae* (3 sp.); *Haematopodidae* (1 sp.); *Stercorariidae* (1 sp.); *Laridae* (5 sp.); Podicipediformes –*Podicipedidae* (1 sp.); Columbiformes – *Columbidae* (4 sp.); Cuculiformes – *Cuculidae* (1 sp.); Apodiformes – *Apodidae* (1 sp.); Passeriformes – *Corvidae* (1 sp.); *Remizidae* (1 sp.); *Alaudidae* (2 sp.); *Phylloscopidae* (3 sp.); *Aegithalidae* (1 sp.); *Locustellidae* (3 sp.); *Acrocephalidae* (6 sp.); *Turdidae* (5 sp.); *Passeridae* (2 sp.); *Fringillidae* (5 sp.); *Emberizidae* (2 sp.).

Reptile: Toate speciile, neincluse în Anexa II, și anume Squamata - *Anguidae* (1 sp.); *Colubridae* (1 sp.).

Amfibieni: Toate speciile, neincluse în Anexa II, și anume Urodela – *Salamandridae* (1 sp.); Anura - *Ranidae* (2 sp.); *Bufinidae* (1 sp.).

Pești: Osteichtyes - Petromyzoniformes – *Petromyzonidae* (1 sp.); Salmoniformes – *Salmonidae* (1 sp.); Cypriniformes - *Cyprinidae* (3 sp.); *Cobitidae* (1 sp.); Siluriformes – *Siluridae* (1 sp.); Gasterosteiformes – *Gasterosteidae* (1 sp.); Perciformes - *Percidae* (2 sp.); *Gobiidae* (2 sp.).

Moluște: Gastropoda - Stylommatophora (*Helix pomatia*).

În aceeași ordine de idei, conform Rezoluției nr. 6, la aceasta Convenție (unde sunt enumerate speciile care necesită măsuri specifice de conservare a habitatului), indicăm faptul că situl Emerald „Lacurile Prutului de Jos" prezintă habitat favorabil pentru dezvoltarea unei specii de plante - *Crambe tataria* și 76 specii de faună: *Rhinolophus hipposideros, Myotis dasycneme, Castor fiber, Canis lupus, Lutra lutra, Mustela lutreola, Gavia arctica, G. stellata, Podiceps auritus, Pelecanus crispus, P. onocrotalus, Ardea purpurea, Ardeola ralloides, Botaurus stellaris, Casmerodius albus (Ardea alba), Egretta garzetta, Ixobrychus minutus, Nycticorax nycticorax, Ciconia nigra, C. ciconia, Anser erythropus, Branta ruficollis, Cygnus columbianus (C.bewickii), C. cygnus, Mergus albellus, Tadorna ferruginea, Accipiter brevipes, Aegypius monachus, Aquila heliaca, Buteo rufinus, Circus aeruginosus, C. cyaneus, C. macrourus, C. pygargus, Haliaeetus albicilla, Pernis apivorus, Falco cherrug, F. columbarius, F. peregrinus, F. vespertinus, Crex crex, Porzana porzana, Grus grus, Charadrius alexandrines, Gallinago media,*

Tringa glareola, Himantopus himantopus, Recurvirostra avosetta, Glareola pratincola, Chlidonias hybridus, Ch. leucopterus, Ch. niger, Sterna albifrons, S. hirundo, Asio flammeus, Caprimulgus europaeus, Alcedo atthis, Coracias garrulous, Dendrocopos medius, D. syriacus, Dryocopus martius, Picus canus, Anthus campestris, Lanius collurio, L. minor, Oenanthe pleschanka, Emys orbicularis, Triturus cristatus, T. dobrogicus, Bombina bombina, Eudontomyzon mariae, Hucho hucho, Gobio albipinnatus, Gobio kessleri, Misgurnus fossilis, Zingel zingel, Lycaena dispar.

Reieșind din importanța siturilor Emerald în conservarea biodiversității, în Strategia de Mediu a Republicii Moldova (2024-2030), se stabilește necesitatea fortificării măsurilor de protejare a ecosistemelor naturale și asigurarea unui management sustenabil al mediului. Astfel, protejarea, restaurarea şi promovarea utilizării durabile a biodiversității și a ecosistemelor naturale se poate realiza, inclusiv, prin dezvoltarea rețelei ecologice naționale, cu reducerea fragmentării ecosistemelor naturale și crearea coridoarelor ecologice de conexiune; extinderea suprafeței ariilor naturale protejate de stat până la 10,0% din teritoriul național; elaborarea planurilor de management durabil al ariilor naturale protejate de stat şi al zonelor-nucleu ale rețelei ecologice naționale; extinderea suprafețelor protejate și a siturilor Rețelei Emerald; precum și avansarea înființării Rețelei Emerald și gestionarea siturilor deja existente [21].

CONCLUZII

Rețeaua EMERALD joacă un rol crucial în conservarea biodiversității, extinzând principiile rețelei NATURA 2000 în țările non-membre ale Uniunii Europene. Acest sistem contribuie la protecția habitatelor naturale și a speciilor de floră și faună sălbatică, menținând echilibrul ecologic la nivel european. Protecția și conservarea habitatelor din situl Emerald „Lacurile Prutului de Jos” sunt fundamentale pentru menținerea biodiversității și a unui stadiu corespunzător de conservare a speciilor. În cadrul secției Știință a Rezervației Științifice „Prutul de Jos”, poate fi consultată lista integrală a speciilor de floră și faună, enumerate în toate anexele Convenției privind conservarea vieții sălbatice și a habitatelor naturale din Europa (Convenția de la Berna, 1979), listă care a fost completată cu noi date ale monitorizărilor din teren și care poate servi ca sursă informativă de bază în evaluările seminarelor biogeografice la nivel regional/ național. Informațiile prezentate pot fi încadrate în evaluările privind indicele de suficiență al speciilor și ar oferi argumente pentru propunerea unor măsuri adecvate de conservare a biodiversității din sit.

REFERINȚE:

1. *Convenția privind conservarea vieții sălbatice și a habitatelor naturale din Europa (1979).* Disponibil: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:l28050 (accesat: 08.07.2025)

2. *Legea Nr. 94 din 05-04-2007 cu privire la reţeaua ecologică*. Publicat: 29-06-2007 în Monitorul Oficial Nr. 90-93 art. 395. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=133945&lang=ro# (accesat: 08.07.2025)
3. *Emerald – Standard Data Form. Md00000012 Lacurile Prutului de Jos.. Emerald Network General Viewer. European Environment Agency.* Disponibil: https://natura2000.eea.europa.eu/Emerald/SDF.aspx?site=MD0000012 (accesat: 08.07.2025)
4. Nistreanu V., et al. păsările acvatice și de baltă din bazinul fluviului Nistru și râului Prut. Chișinău: Editura USM, 2024, 89 p. ISBN 978-9975-62-817-4.
5. Bușmachiu G., Munjiu O. Libelulele (Insecta:Odonata) din Republica Moldova. Ghid. Chișinău: [S. n.], 2024 (Căpăţînă-Print), 100 p. ISBN ISBN 978-9975-3675-7-8.
6. Nistreanu V., et al. Fauna Rezervației Biosferei "Prutul de Jos". Vertebrate terestre. Chișinău: Căpăţînă-Print, 2023, 198 p. ISBN 978-9975-3644-5-4.
7. Bușmachiu G., et al. Fauna Rezervației Biosferei „Prutul de Jos". Nevertebrate (Collembola, Odonata, Hemiptera, Coleoptera și Lepidoptera). Chișinău : [S. n.], 2023 (Căpăţînă- Print), 204 p. ISBN 978-9975-3605-2-4.
8. Bulat D., et al. Ihtiofauna râului Prut (în limitele teritoriale ale Republicii Moldova). Chișinău: S. n., 2022 (Centrul Editorial-Poligrafic al USM), 98 p. ISBN 978-9975-62-468-8.
9. Bușmachiu G., et al. Entomofauna (insecta) from the south region of the Republic of Moldova. In: *Biology and sustainable development*, Ed. 22, 21-22 noiembrie 2024, Bacău. Bacău: 2024, Ediția 22, pp. 35-36.
10. Nistreanu V., et al. Specii rare de păsări acvatice și de baltă din rezervația biosferei „Prurul de jos". In: *Starea ecosistemelor acvatice transfrontaliere ale Republicii Moldova*, Ed. 1, 14 noiembrie 2024, Chișinău. Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic al Universităţii de Stat din Moldova, 2024, Ediția 1, pp. 148-155. ISBN 978-9975-62-810-5.
11. Paladi V. Ornitofauna zonei umede Ramsar „Lacurile Prutului de Jos". Teză de doctor în biologie. Universitatea de Stat din Moldova, Școala Doctorală Științe ale Naturii, 2024. Disponibil: https://www.anacec.md/files/Paladi-teza.pdf (accesat: 08.07.2025)
12. Paladi V. Current status of the Pelecaniformes species in the Ramsar area "The lakes of lower Prut". In: *Natural sciences in the dialogue of generations*, 14-15 septembrie 2023, Chișinău. Chișinău: Centrul Editorial-Poligrafic al Universităţii de Stat din Moldova, 2023, p. 174. ISBN 978-9975-3430-9-1.
13. Begu A., Paladi V. The vulnerability of species and habitats in the Lower Prut zone to climate change. In: *The Museum and Scientific Research*, Ed. 30, 7 septembrie 2022 - 9 septembrie 2023, Craiova. Craiova, România: 2023, Ediția 30, p. 93. ISBN 2668-5469.
14. Cassir P., et al. New findings of some rare species in the vascular flora of Bi-

osphere Reserve “Lower Prut” (Republic of Moldova). In: *Revista Botanică*, 2023, vol. 15, nr. 1(26), pp. 40-49. ISSN 1857-2367.

15. Cassir P. et al. New data on rare vascular plants in the flora of “Lower Prut Lakes” RAMSAR site (Republic of Moldova). In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Ştiinţe Reale şi ale Naturii)*, 2023, nr. 6(166), pp. 32-40. ISSN 1814-3237.
16. Bouroș G. et al. First report of Eurasian beaver (*Castor fiber* Linnaeus 1758) in the Republic of Moldova. In: *North-Western Journal of Zoology*, 2022, vol. 18, pp. 71-76. ISSN 1584-9074.
17. *Legea Nr. 1538 din 25-02-1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat*. Publicat: 16-07-1998 în Monitorul Oficial Nr. 66-68 art. 442. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=141074&lang=ro# (accesat: 08.07.2025)
18. EU4Environment. 2023. Identificarea pădurilor cu valoare ridicată de conservare în Republica Moldova. Washington DC: Banca Mondială. 85p. Disponibil: https://www.eu4environment.org/app/uploads/2024/02/Report-Identification-of-High-Conservation-Value-Forests-in-the-Republic-of-Moldova-ROM.pdf (accesat: 08.07.2025)
19. Cartea Roșie a Republicii Moldova. Min. Mediului al Rep. Moldova, Acad. de Ştiinţe a Moldovei, Grădina Botanică & Inst. De Zoologie; Ed. a 3-a. Ch.: Î.E.P. Ştiinţa, 2015 (Combinatul Poligr.). 492 p.
20. *Data Zone by Bird Life. Moldova*. Disponibil: https://datazone.birdlife.org/country/factsheet/moldova accesat: 08.07.2025).
21. *Hotărârea Guvernului Nr. 409 din 12-06-2024 cu privire la aprobarea Strategiei de mediu pentru anii 2024-2030*. Publicat : 30-07-2024 în Monitorul Oficial Nr. 325-328 art. 650.

N.B. *Acest studiu a fost susținut de proiectul de cercetare 010801 „Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu”, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare.*

EVALUAREA CANTITĂȚILOR DE PRECIPITAȚII ÎN BAZINUL RÂULUI IALPUG ÎN SECOLUL XXI

ASSESSMENT OF PRECIPITATION QUANTITIES IN THE IALPUG RIVER BASIN IN THE 21st CENTURY

CZU: 556.12:574.5(478:282)"20" **https://doi.org/10.59295/spd2025e.64**

Valentin RĂILEANU
ORCID: 0000-0002-2000-8216
E-mail: valentin.raileanu@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Rodica COJOCARI
ORCID: 0000-0002-4560-7709
E-mail: rodica.cogocari@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina MÎNDRU
ORCID: 0009-0009-6679-6113
E-mail: galina.mindru@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorica ȚURCAN
ORCID: 0009-0007-8888-0952
E-mail: viorica.turcanu@sti.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The purpose of this research is to assess the average precipitation amounts in the Ialpug River Basin in the southern part of the Republic of Moldova in the years 2021-2040, 2041-2060 and 2081-2100 by developing high spatial resolution cartographic models. Annual and warm season precipitation, based on observations, with a resolution of 200 m in the reference period 1986-2005, were modeled using the regression equation method. Precipitation change factors (%) in future periods were extracted from the IPCC Interactive Atlas, RCM Cordex Europe, interpolated at a resolution of 200 m and multiplied by the precipitation in the reference periods for different time intervals, RCPs, seasonal intervals (Statistical Downscaling method). Future warm season precipitation differs little from those in the reference period*, on the other hand, annual precipitation increases by 10-30 mm.

Keywords*: climate cange, downscaling, future projections, RCP.*

INTRODUCERE

Încălzirea globală, depistată deja în anii 80 ai secolului trecut, prezintă un risc deosebit pentru economie, mediu și societate. În parte de sud a Republicii Moldova tot mai des sunt observate fenomene de deșertificare și secetă, generate, în particular, de deficitul precipitațiilor atmosferice [1, 2, 3]. În prezent evoluția climei este descrisă de modelele climatice globale (GCM) cu rezoluție orizontală 200-300 km. Modelele GCM au servit pentru elaborarea modelelor climatice regionale (RCM), care au redus rezoluția orizontală la zeci de kilometri prin metode de reducere a scalării dinamice sau statistice. Cu toate acestea GCM și RCM nu permit evidențierea detaliată a climei la nivel local. Reducerea dinamică a scalării necesită resurse enorme de calcul. Modelele GCM și RCM recente sunt expuse în rapoartele AR5 și AR6 ale Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC), descriu clima actuală, cea din trecut și simulări ale climei viitoare. Observațiile la stațiile meteorologice permit elaborarea modelelor cartografice cu o descriere mai amplă a climei actuale la nivel local. Pentru a utiliza simulările climei viitoare este necesar de a reduce prin scalare statistică a modelelor RCM la cea a rezoluției spațiale a modelelor locale. Scopul lucrării este evaluarea cantităților de precipitații anuale și în sezonul cald în bazinul râului Ialpug în anii 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100. Evidențierea tendințelor de modificare a precipitațiilor ar putea contribui la luarea măsurilor corecte de adaptare pentru sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu.

MATERIALE ȘI METODE

Modificările valorilor medii ale cantității de precipitații pe teritoriul Republicii Moldova în anii 2021-2040, 2041-2060 și 2081-2100 au fost evaluate utilizând atât valorile medii lunare observate la stațiile meteorologice ale SHS în perioada de referință 1986-2005, cât și datele generate de Modelul Climatic Regional CORDEX Europe, inclus în Atlasul Interactiv din raportul de evaluare al Comisiei Interguvernamentale pe Schimbările Climatice [4].

Modelele cartografice ale precipitațiilor anuale și în sezonul cald în perioada de referință 1986-2005 au fost obținute prin metoda ecuațiilor de regresie, utilizând ca predictori statistici semnificativi latitudinea geografică și altitudinea absolută a terenului a 17 stații meteorologice ale SHS. Fiindcă ecuațiile de regresie explică doar 70-90 % din variabilitatea precipitațiilor, restul este explicat de reziduurile regresiei, condiționate de factori necunoscuți. Reziduurile au fost interpolate prin metoda Spline, care este un interpolator exact, și adăugate la hărțile generate de modelele ecuațiilor de regresie. În consecință, valorile modelelor în pozițiile stațiilor corespund cu cele observate. Rezoluția spațială a modelelor în perioada de referință este egală cu 200 m.

RCM CORDEX Europe cu rezoluție spațială 0,25 x 0,25 grade include date istorice din perioada de referință, anomaliile (factorii de schimbare) din perioadele viitoare față de perioada 1986-2005, și 3 scenarii climatice: RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 8,5, care repre-

zintă forțarea radiativă în W/m^2, echivalentă cu efectele gazelor de seră și ale aerosolilor de proveniență umană și naturală. Reducerea scării a fost efectuată prin metoda Statistical Downscaling. Metoda este bazată pe următoarele presupuneri generale [5 - 9]:

1. Schimbările climatice variază doar pe distanțe mari (adică la fel de mari ca dimensiunea celulei GCM (RCM Cordex Europe în cazul nostru);

2. Relațiile dintre variabilele din perioada de referință (clima actuală) sunt susceptibile de a se menține în viitor. Procesul de reducere a scării consistă în următorii pași:

- elaborarea modelelor cartografice în perioada de referință (precipitații anuale și din sezonul cald);
- colectarea anomaliilor (în %) ale precipitațiilor viitoare față de perioada de referință din RCM Cordex Europe (3 intervale temporale, 3 valori RCP și 2 intervale sezoniere, fig. 1 – exemplu);
- extragerea anomaliilor în proximitatea teritoriului Republicii Moldova (fig. 2.);
- interpolare anomaliilor (factorilor de schimbare) prin metoda Spline la rezoluție 200m;
- multiplicarea vaporilor hărților modelelor cartografice din perioada de referință cu factorii de schimbare pentru toate variantele și extragerea distribuțiilor spațiale ale precipitațiilor din bazinul râului Ialpug.

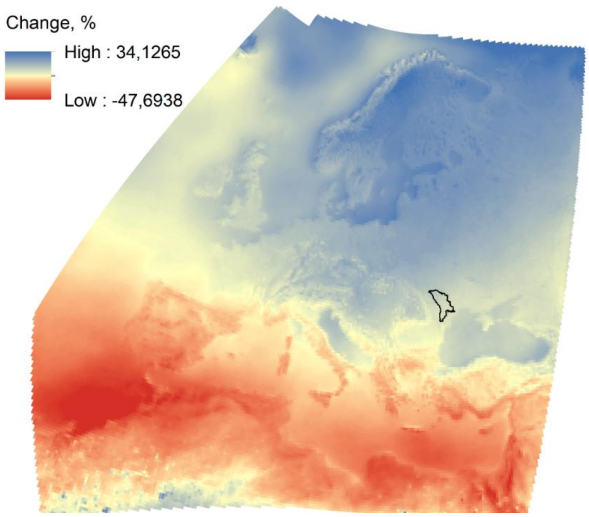
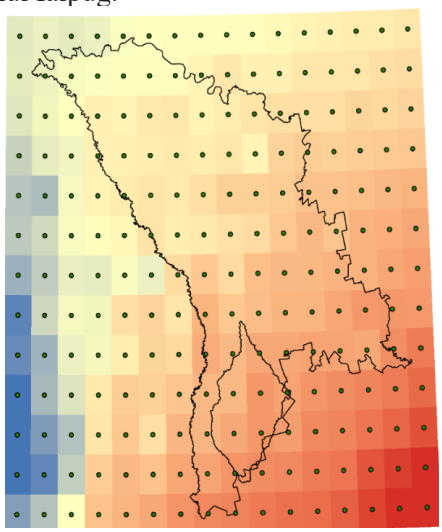


Figura 1. CORDEX Europe - Total precipitation (PR) Change % - Long Term (2081-2100) RCP8.5 (rel. to 1986-2005) -Annual (50 models)



Figigura 2. Centrele celulelor rasterelor Cordex Europe relativ cu frontiera Republicii Moldova și bazinul râului Ialpug

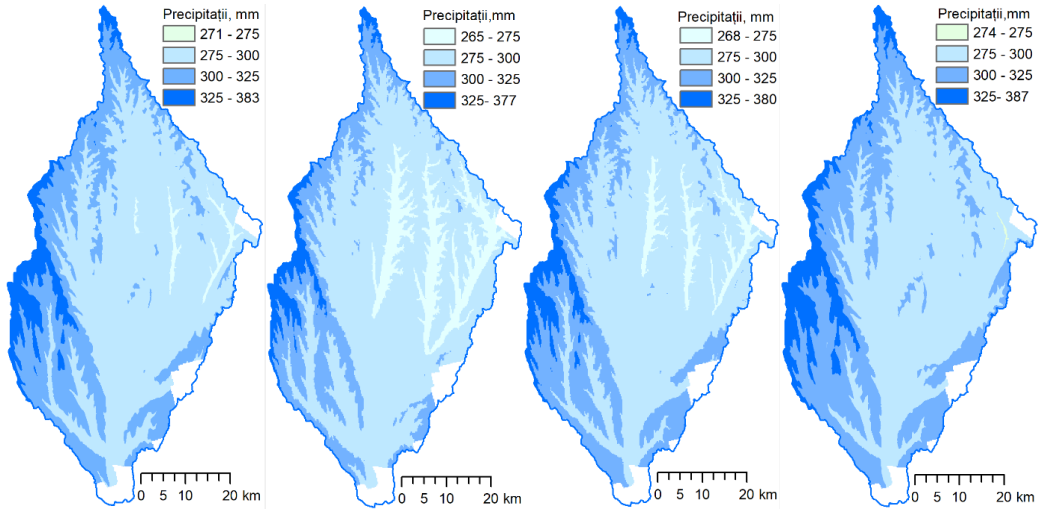
Din RCM Cordex Europe au fost extrase 18 seturi de date (rastere în format GeoTiff Robinson, reproiectate ulterior în UTM WGS84 zona 35N) cu valorile anomaliilor față de perioada de referință (de exemplu, fig. 1). Din fiecare set a fost extras un subset co-

respunzător unui areal mai mare decât teritoriul Republicii Moldova (fig. 2) și interpolat cu Spline cu reducerea scalării la rezoluția spațială ale modelele perioadei de referință. Toate procedurile au fost efectuate în SIG ArcGIS 10.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Ca rezultat, au fost elaborate câte 9 hărți ale distribuțiilor spațiale ale precipitațiilor medii și o hartă de referință pentru sezonul cald și corespunzător, pentru sezonul anual (fig. 3, fig. 4). Legendele sunt aceleași pentru fiecare interval sezonier cu excepția claselor cu valori minime și maxime. În sezonul cald, față de perioada de referință, arealele cu valori minime cresc pe termen scurt, scad pe termen mediu și dispar pe termen lung (RCP 2,6). În cazul RCP 4,5 arealele menționate cresc pe termen scurt, apoi scad pe termen mediu și lung, fiind aproximativ egale cu cele din perioada de referință. În cazul RCP 8,5 pe termen scurt și mediu arealele cu valori mai mici de 275 mm dispar, dar cresc brusc pe termen lung.

În cazul precipitațiilor anuale arealele valori mai mici de 460 mm și RCP 2,6 scad treptat pe termen scurt și mediu și dispar pe termen lung. Practic aceeași tendință se observă și în cazul RCP 4,5. Arealele menționate cresc treptat către termenul lung, dar sub cele ale perioadei de referință.



Perioada 1986-2005 RCP 2,6 2021-2040 RCP 2,6 2041-2060 RCP 2,6 2081-2100

Perioada 1986-2005 RCP 2,6 2021-2040 RCP 2,6 2041-2060 RCP 2,6 2081-2100

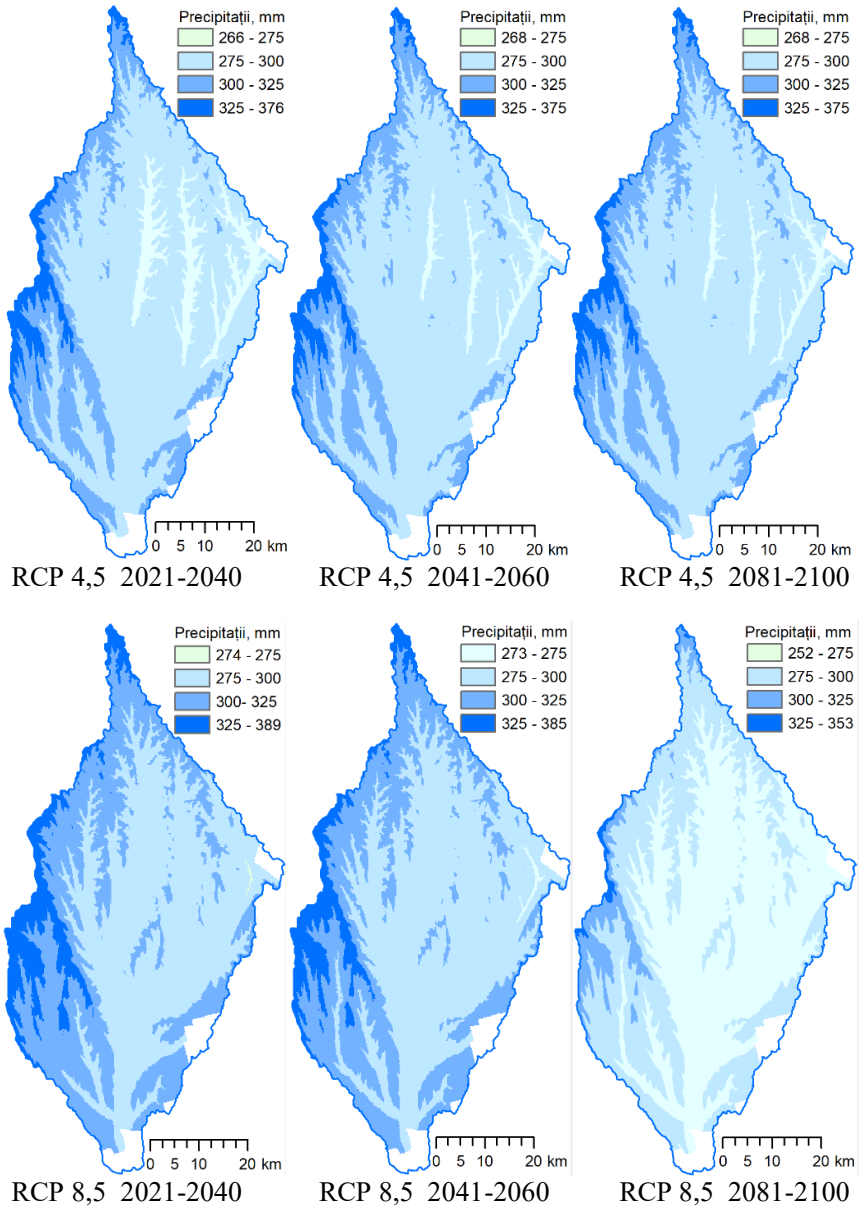


Figura 3. Cantitatea medie de precipitații (mm) în sezonul cald al anului (aprilie -septembrie) în perioada de referință 1986-2005 și proiecțiile în viitor pe termen scurt (2021-2040), mediu (2041-2060) și lung (2081-2100) cu trei valori de forțare radiativă RCP 2,6, 4,5, și 8,5 (W/m^2)

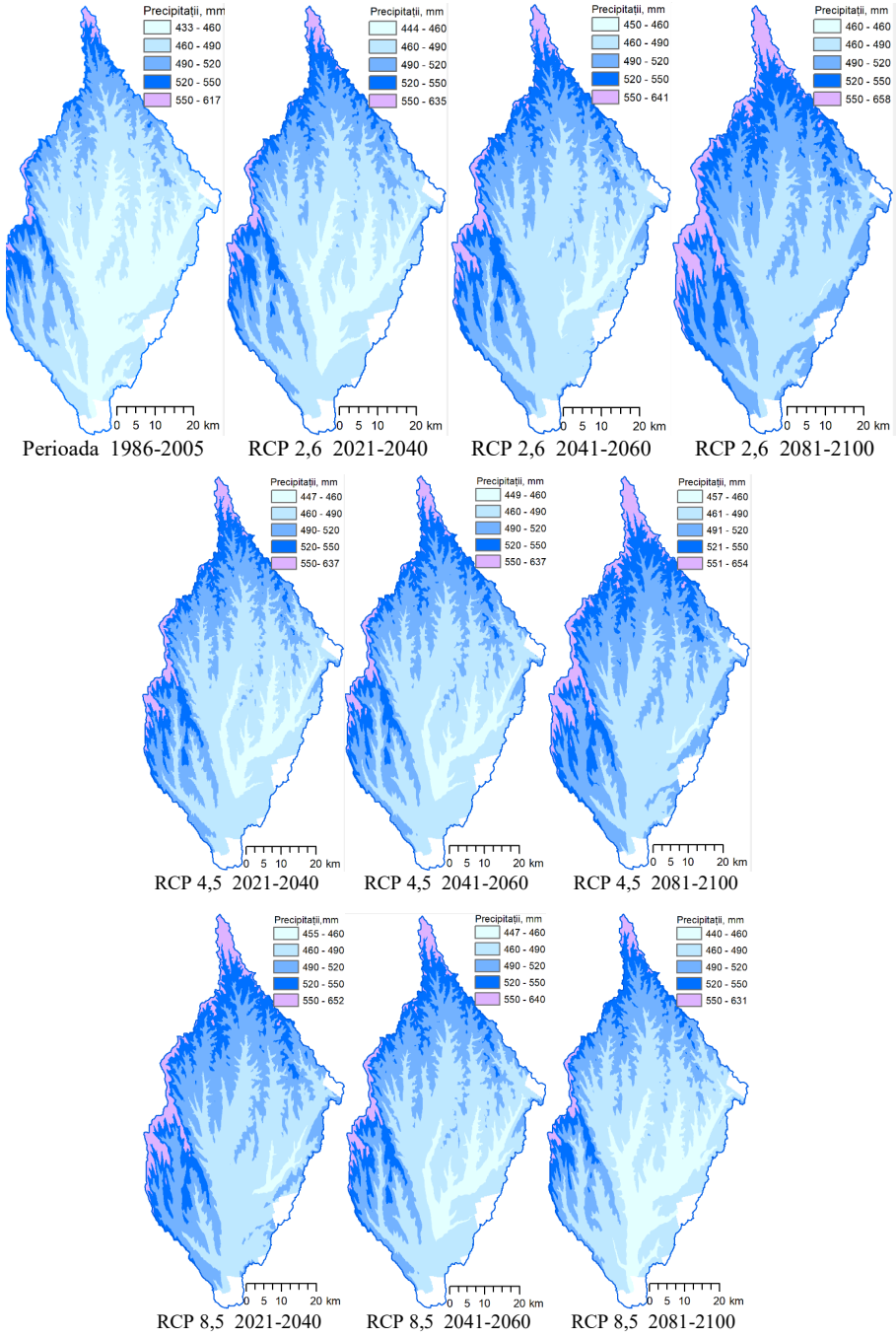


Figura 4. Cantitatea medie anuală de precipitații (mm) în perioada de referință 1986-2005 și proiecțiile în viitor pe termin scurt (2021-2040), mediu (2041-2060) și lung (2081-2100) cu trei valori de forțare radiativă RCP 2,6, 4,5, și 8,5 (W/m^2)

În Tabelul 1 sunt indicate valorile minime, medii și maxime ale precipitațiilor anuale și în sezonul cald. Deoarece în ambele cazuri valorile medii sunt mai apropiate de minime, distribuția spațială este asimetrică cu valori nu prea mari, în timp ce precipitații mai mari în partea de vest și nord a bazinului cad pe suprafețe mici și sunt influențate de Colinele Tigeciului.

Tabelul 1. Statistica spațială a precipitațiilor (mm) în bazinul râului Ialpug

Anii	Model	Minimum	Maximum	Media	Dev. Std	Model	Minimum	Maximum	Media	Dev. Std
	Precipitații în sezonul cald					Precipitații anuale				
1986-2005	prefc	271,2	382,8	297,7	16,40	prefan	433,3	617,4	476,2	26,71
2021-2040	p26cp1	265,0	376,7	291,8	16,08	p26anp1	443,7	635,2	487,3	27,62
2041-2060	p26cp2	268,4	379,9	295,8	16,32	p26anp2	450,4	641,0	494,4	27,47
2081-2100	p26cp3	274,1	386,5	300,5	16,77	p26anp3	459,7	658,3	506,1	28,86
2021-2040	p45cp1	266,0	376,2	293,0	15,90	p45anp1	447,3	637,3	491,2	27,48
2041-2060	p45cp2	268,1	375,4	294,1	14,90	p45anp2	448,6	637,5	492,3	27,09
2081-2100	p43cp3	272,8	381,6	299,2	15,28	p45anp3	457,1	654,1	503,9	28,51
2021-2040	p85cp1	274,3	388,7	302,0	16,50	p85anp1	454,7	652,5	501,5	28,57
2041-2060	p85cp2	272,9	385,3	300,1	16,01	p85anp2	446,7	639,8	492,1	27,88
2081-2100	p85cp3	252,4	352,9	275,9	14,14	p85anp3	439,6	630,6	484,5	27,47

Notă: Denumirile modelelor include: p - precipitații, ref - perioada de referință, c și an – sezonul cald și anual, 26, 45, 85 – valorile RCP, p1, p2, p3 – termen scurt, mediu și lung

Schimbările precipitațiilor medii viitoare în bazin față de perioada de referință sunt prezentate în figura 5 și figura 6.

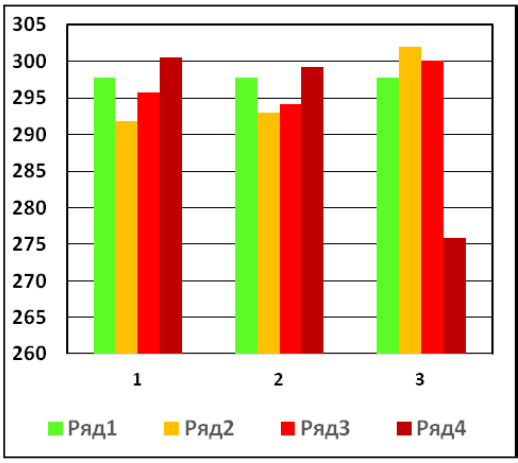


Figura 5. Valorile medii ale precipitațiilor în sezonul cald în bazinul r. Ialpug comparativ cu perioada de referință. 1- perioada 2021-2040, 2- perioada 2041-2060, 3- perioada 2081-2100. Verde- perioada de referință 1986-2005, Portocaliu- RCP2,6, Roșu-RCP4,5, Brun-RCP8,5

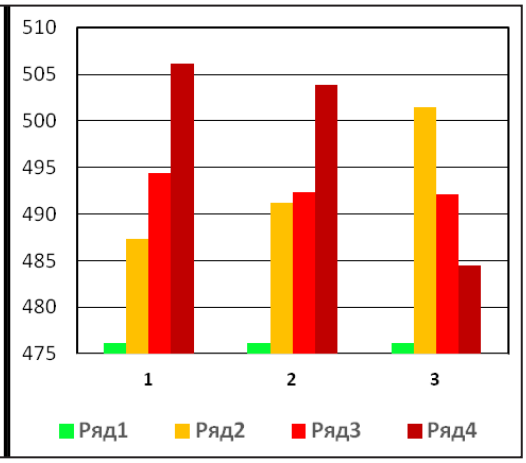


Figura 6. Valorile medii ale precipitațiilor anuale în bazinul r. Ialpug comparativ cu perioada de referință. 1- perioada 2021-2040, 2- perioada 2041-2060, 3- perioada 2081-2100. Verde- perioada de referință 1986-2005, Portocaliu- RCP2,6, Roșu-RCP4,5, Brun-RCP8,5

Precipitații în sezonul cald (fig. 5) - RCP 2,6: Cantitatea precipitațiilor medii în bazin Pmb crește treptat, dar neesențial, către sfârșitul centenarului față de perioada referință Pref (292, 296, 300 vs 298 mm). RCP 4,5: Pmb este mai mică pe termin scurt și mediu, dar mai mare pe termin lung decât Pref, dar neesențial (293, 294, 299 vs 298 mm). RCP 8,5: Pmb este mai mare decât Pref, dar neesențial, pe termin scut și mediu, însă scade brusc pe termin lung (302, 301, 276 vs 298 mm).

Precipitații anuale (fig. 6) - RCP 2,6: Pmb este mai mare decât Pref și crește către sfârșitul centenarului (487, 494, 506 vs 476 mm); RCP 4,5: Pmb este mai mare decât Pref, dar scade neesențial către sfârșitul centenarului (491, 492, 492 vs 476 mm); RCP 8,5: Pmb este mai mare decât Pref, dar scade esențial pe termen lung (506, 504, 487 mm).

CONCLUZII

1. Cantitățile medii de precipitații în sezonul cald în anii 1921-2040, 2041-2060, 2081-2100 se deosebesc de cele din perioada de referință 1986-2005 doar cu câțiva milimetri, spre deosebire de varianta RCP 8,5 W/m^2 – anii 2081-2100, când valorile descresc cu 22 mm.

2. Cantitățile medii de precipitații anuale pe termen scurt, mediu și lung sunt mai mari decât cele din perioada de referință. În cazul RCP 2,6 W/m^2 cantitățile de precipitații cresc treptat către sfârșitul centenarului cu 11, 16, 26 mm, în cazul RCP 4,5 W/m^2 cresc

cu 17 mm, iar în cazul RCP 8,5 W/m^2 scad treptat, însă cu valori mai mari decât în perioada de referință.

3. Ca urmare, cantitățile de precipitații în sezonul rece a anului vor fi mai mare decât cele din sezonul cald.

REFERINȚE

1. RĂILEANU, V., COJOCARI, R., CRIVOVA, O. Duration and magnitude of droughts in Republic of Moldova. In: P*resent Environment and Sustainable Development*, 17 Edition, 3 iunie 2022, Iași, România. Disponibil în IBN: 8 iunie 2025. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/158336
2. NEDEALCOV, M., RĂILEANU, V., COJOCARI, R., MÎNDRU, G., CRIVOVA, O. Modificările posibile ale temperaturii și precipitațiilor în secolul XXI în Republica Moldova. In: *Present Environment and Sustainable Development*, Ed. 16, 18 iunie 2021, Iași, România. Disponibil în IBN: 8 iunie 2025 https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/141823
3. HG Nr. 1009 din 10-12-2014 cu privire la aprobarea Strategiei Republicii Moldova de adaptare la schimbarea climei până în anul 2020 și a Planului de acțiuni pentru implementarea acesteia. Publicat: 19-12-2014 în Monitorul Oficial, nr. 372-384, art. 1089.
4. IPCC WGI Interactive Atlas. https://interactive-atlas.ipcc.ch
5. Statistical Downscaling (Delta Method) CMIP3 Data. Statistical Downscaling (Delta Method) - CCAFS Climate
6. GCM Downscaling Portal. Statistical Downscaling https://ccafs-climate.org/statistical_downscaling_delta_cmip5/
7. RAMIREZ VILLEJAS, J., JARVIS, A. 2010. Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. International Center for Tropical Agriculture (CIAT) Cali.CO. 18p. https://hdl.handle.net/10568/90731
8. TANG, J., X. NIU, S. WANG, H. GAO, X. WANG, J. WU (2016), Statistical downscaling and dynamical downscaling of regional climate in China: Present climate evaluations and future climate projections, J. Geophys. Res. Atmos., 121,2110–2129, ISSN2169-897, eISSN2169-8996.
9. GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., ENGEN-SKAUGEN, T.: Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2012. 16, p.3383–3390. eISSN: HESS 1607-7938, HESSD 1812-2116.

N.B. *Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului 01.08.01. „Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu”.*

SOME ASPECTS OF THE ECOLOGICAL STRUCTURE OF THE POPULATION OF THE SPECIES *CERVUS ELAPHUS* (LINNAEUS, 1758) IN THE „PLAIUL BAGULUI" RESERVE

UNELE ASPECTE ALE STRUCTURII ECOLOGICE ALE POPULAȚIEI SPECIEI *CERVUS ELAPHUS* (LINNAEUS, 1758) ÎN REZERVAȚIA „PLAIUL FAGULUI"

CZU: 599.735.3:502.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.65**

Veaceslav SITNIC
ORCID: 0000-0003-3919-9232
E-mail: veaceslav.sitnic@sti.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Anatolie SAVIN
ORCID: 0009-0004-6933-4196
E-mail: anatolie.savin@sti.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Obiectivul cercetării a fost analiza structurii ecologice a speciei Cevus elaphus în rezervația „Plaiul Fagului" pe parcursul a cca 50 de ani. Evidența speciei C.elaphus a fost efectuată conform metodelor tradiționale – după defecații, la locurile trofice și sărării, numărării duble la liniile parcelare, goana cu numărarea urmelor la linii parcelare. Evaluarea include observații directe în trei etape, fiind identificată mărimea efectivului, structura pe clase de vârstă, sexe și starea de sănătate. Procesul de reaclimatizare a speciei C.elaphus a fost demarat în gospodăria silvo-cinegetică „Redeni" în anii 1975-1977. În total au fost supuși reaclimatizării 76 indivizi. Un factor negativ ce a influențat acest proces reprezintă braconajul. În prezent populația C.elaphus în rezervație este de cca 143 indivizi. S-a înregistrat o creștere în raport cu anul precedent de doar 1,4%. După o ușoară ameliorare a efectivelor, acestea, totuși, sunt de 2-3 ori mai mici în comparație cu cele optimale, reieșind din capacitățile de suport a ecosistemelor silvice.*

Cuvinte-cheie: *Cerbul comun, rezervație, reaclimatizare, braconaj.*

INTRODUCTION

One of the ungulate species that inhabits the «Plaiul Fagului» reserve is *Cervus elaphus*. *C.elaphus* is a species of large even-toed herbivorous mammal that inhabits large deciduous or mixed forests. This species is widespread in most of Europe, the Caucasus Mountains region, Asia Minor, Iran, parts of West Asia and Central Asia. It has been introduced to some areas, including Australia, the USA, New Zealand, Canada [1, p. 98, 2, p. 170]. Genetic evidence indicates that *C.elaphus* is a group of species, rather than a single species, although exactly how many species the group includes remains uncertain

[3, p. 201]. The ancestor of all deer probably originated in Central Asia. Reintroduction and conservation efforts, such as in the United Kingdom and Portugal, have led to increases in the red deer population, while in other areas, such as North Africa, population decline has continued [4, p. 16].

The «Plaiul Fagului» reserve, located in the center of the republic, in the northwestern part of the Central Codrilor Plateau, represents one of the few corners of nature in the republic, where many species of plants and animals specific to the forest-steppe zone can be found, a good part of which have become rare in recent decades [5, p. 244-265, 6, p. 89-155]. The relief is rugged, narrow peaks with deep valleys, steep slopes, springs with cold and crystalline water. The hydrographic network is formed by tributaries of the Pojarna river, which flows into the Bîc river. There are several water basins in the meadow of the Rădeni river. The «Plaiul Fagului» reserve falls within the deciduous forest zone [7, p. 89]. The zonality by altitude is noticeable. The plateaus and slopes have a zonal vegetation consisting of forests of *Quercus petraea, Quercus robur* and *Fagus sylvatica*. On the territory of the reserve there are 5 ponds arranged in the meadow of the Rădeni stream. Some of them are dry. Agrocenoses occupy very small areas in the central part and larger ones in the neighboring ones. They are intended for additional feeding of wild animals.

C.elaphus was completely exterminated in the area between the Prut and Nistru rivers in the 40s of the 19th century [8, p. 162, 9, p. 245]. Since the living conditions are favorable for this species in protected natural areas, with the observance of the necessary conditions, it became possible to restore it and even maintain its optimal population. The purpose of the work was to elucidate the ecological structure of the *C.elaphus* species population in the «Plaiul Fagului» reserve over the course of about 50 years.

MATERIALS AND METHODS

The *C.elaphus* species was recorded according to traditional methods – after defecation, at feeding and salting sites, double counting at plot lines, chase with counting tracks at plot lines [10, p. 39-43]. The assessment includes direct observations in three stages, identifying the size of the herd, the structure by age classes, sexes and health status. At the first stage, the assessment is carried out by listening during the mating period (bouncing) during the months of September-October. This process will take place before sunrise. At the second stage, the herds are visually recorded during the winter period. Reading tracks on the snow is carried out at the third stage at the end of the winter season. Finally, the arithmetic mean of the herds recorded during the three stages is determined (methods). The photo and video recording method is widely used [10, p. 39-43].

RESULTS AND DISCUSSIONS

The process of re-acclimatization of the C.elaphus species was started in the forest-hunting farm «Redeni» in 1975-1977 (tab. 1) [11, p. 95, 12, p. 120]. For re-

acclimatization, the nominal European subspecies was introduced from the Voronezh reserve, Russia. In total, 76 individuals, including 49 females, were subjected to re-acclimatization.

Table 1. Reacclimatization of the nominal species *C.elaphus* in the «Redeni» forestry-hunting farm

Data	Number		Place of introduction	Location of origin
	Total	Female		
March 1975	15	10	Redenii Vechi Forest, Bahmut station	Voronezh reserv
March 1976	21	15		
February 1977	20	11		
April 1977	20	13		
Total	76	49		

In January 1980, the population of the species was 40 individuals [11, p. 95].

Communities belonging to different subspecies on adjacent territories contact each other during the period of sexual activity. There is a process of hybridization of individuals of the nominal species with those belonging to the Ascanian maral. Multi-annual observations have shown an increase in the population of about 5%, which is 3 times lower compared to neighboring countries.

The assessment of the status of deer species, including the *C.elaphus* species, was carried out in the Redeni forest-hunting farm from a helicopter in 1981 [11, p. 95, 12, p. 120]. The data obtained in this way in January and November were supplemented and adjusted with those obtained in the winter and summer periods by other methods. Thus, in January 1981, the presence of 80 deer individuals was established, and in November - 68 individuals. This difference is explained by the fact that in January, individuals group into winter flocks, move deep into the forest and to places where feeders are installed. In November, however, winter groups are not yet fully formed, individuals frequent agricultural crops adjacent to the forest, and their density is lower. Following the acclimatization of the *C.nippon* species, hybrids emerged due to crossing with the *C.elaphus* species, which exceeded the number of each separate species, affecting their genotype.

In the winter-spring period of 1982, following the assessment at the plot lines, 86 *C.elaphus* specimens were recorded, of which 18 were adult males, 34 were adult females, 30 were 1-2 year olds and 4 were of the current year [12, p. 120]. The assessment from the helicopter in December 1981 demonstrated the presence of 68 individuals, of which 67% were adults, 14% were 1-2 year olds and 19% were of the current year. The male:female sex ratio was 1:2. In January, a group of 18 specimens was observed in plots 9,10,18,19,31,32. A group of 12 individuals, consisting of 3 males, 8 females and one individual aged 1.5 years was observed during the winter period in plot 5. During this period the deer fed on the bark of fruit trees in the orchard adjacent

to plots 5 and 6 on a strip of 40-50 m. The formation of winter flocks correlates with the trophic factor. The flocks are composed of 20-30 individuals of a heterogeneous demographic structure in the favorable nutrition sectors. However, they are temporary and break up when the food resources in the given sector are exhausted. In total, 128 individuals were observed in 1982, including 35 males (27.3%), 57 females (44.5%) and 36 (28.1%) juveniles.

At the end of the 80s of the 20th century, the population of the species was about 100 individuals and remained at the same level until the beginning of the 2000s [13, p. 124]. In the years 1991-1994, hybrid specimens and partially *C.nippon* individuals were eliminated. Research conducted in the mid-90s of the 20th century demonstrated that *C.elaphus* more frequently inhabits plots 3-9, and 18, where about 36 individuals were identified, of which 11 males and 25 females. These individuals fed on the remains of oak, ash, hornbeam, poplar, cherry shoots, left after sanitary cuts. In plots 9 and 18 in the spring, 21 individuals were observed, of which 7 males and 14 females. The sex structure is characterized by a male:female ratio of 1:2. Regarding the age structure, we note that in the *C.elaphus* population, 67% are adults, 14% are juveniles and 19% are individuals from the current year. This proportion is an indication of an insignificant natural increase. A local micropopulation with a normal structure has not been formed. In total, about 50 individuals were observed during this period [14, p. 124]. In 2012, following the assessments, the presence of 130 individuals was found. The population in the spring of 2021 was estimated at 140 individuals.

Currently, the *C.elaphus* population in the reserve is about 143 individuals (fig. 1). There was an increase compared to the previous year of only 1.4%. After a slight improvement in the populations, they are, however, 2-3 times smaller compared to the optimal ones, resulting from the support capacities of the forest ecosystems.

The male is usually 1.55 to 2.0 metres long, weighing about 300 kg; the female is 1.40 to 1.8 metres long and often weighs 120 to 170 kg [15, p. 380]. The tail is 12 to 19 cm long, and the height at the shoulder is about 130–150 cm. The horns of males begin to grow in the spring and fall off each year, usually in late winter. They are usually 71 cm long in total and weigh 1 kg, although large ones can grow up to 1.15 metres and weigh 5 kg. The horns can grow at a rate of 2.5 cm per day. The horns are a weapon against rivals in the fight for possession of females. Rivals can assess their chances by looking at the horns, so that individuals with very different strengths rarely fight each other [15, p. 320]. *C.elaphus* individuals stay hidden in hard-to-reach places during the day. At dusk they come out, cautiously, in clearings, clearings or fields. They drink from the spring and bathe, preferring puddles and swamps, especially during the mating season. They graze on the grass in the clearings, feed on tree buds (Populus, Salex, Tilia, etc.), acorns, apples and pears, acorns, leaves, but they also consume agricultural crops, especially grasses.

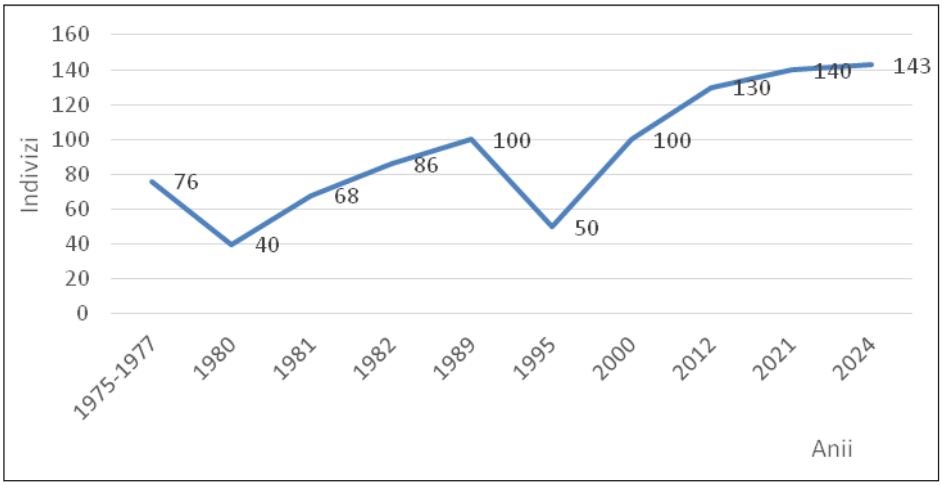


Figure 1. Multiannual dynamics of the C.elaphus species populations in the «Plaiul Fagului» reservation

While the herd grazes, one or two animals are alert to danger and give alarm signals if a predator approaches. From the salt pans, set up by hunters, they supplement their nutrients. In winter, they gnaw on tree bark and moss, choosing the sunniest places in the forest as their dwelling during this season.

Males live alone or in families, in dens, and females in small family groups. Males tend to gather in groups after losing their horns. Before calving, females are easily separated from other individuals, but later they form groups again. When cornered, they defend themselves with quick blows of their forelimbs, and their extremely sharp fangs are an effective weapon. In this way, females can defend their young well.

Reproduction occurs from early September to the second decade of October.

Mating is preceded by a distinctive male roar during the rut, which is an adaptation to forested environments, unlike male American wapiti make a horn-like sound during the rut, as an adaptation to open environments. Hunters call this period “booming”. The male roars to keep his harem of females together, these being attracted to those males that roar most often and have the loudest sound. The deer thus gathers around him between 5 and 15 females, which he guards jealously, at the cost of furious fights against all rivals, which can sometimes have a lethal outcome [15, p. 341].

Only mature deer have harems (groups of females), and reproductive success peaks at around eight years of age. Deer aged two to four years rarely have harems and spend most of the rut on the outskirts of larger harems, as do deer over 11 years of age. Deer with a harem feed infrequently and lose up to 20% of their body weight. Males who enter rut in poor condition are less likely to reach the conception period. Once the rut period has passed, males reform their herds, resuming their normal lives, while females, also gathered in separate herds with younger males, set off in search of safe places to spend

the first days of gestation. Gestation lasts 34 weeks, and usually only one calf is born at each birth, rarely two. The chick has a spotted back to better camouflage itself in the bushes, where it remains perfectly still and cannot be spotted by any predator because it does not emit any scent. The chick remains hidden in the dense bushes, where the female only accompanies it to feed, for a few weeks, after which it is able to follow the group with other females with chicks.

One of the factors of anthropogenic origin, which limits the number of *C.elaphus* species, is poaching, the share of which is 81.1% of the total number of factors [16, p.169]. It began to influence from the very beginning of the reacclimatization process, disrupting the process of forming a stable population. Poaching is carried out using motor transport, especially in the autumn and winter. Another factor of anthropogenic origin is poisoning with mineral fertilizers and pesticides.

In order to increase the annual growth of the *C.elaphus* species, maintain the sex and age structure at the optimal level, and obtain healthy offspring, the population of even-toed ungulates in the reserve should be maintained at the optimal level, according to the hunting management, sick, old individuals, etc. should be eliminated from the population, the areas of clearings, feeding fields, waterers and stalls should be increased, and prophylaxis against diseases and parasites should be carried out on a permanent basis.

In the case of exceeding an optimal population, when damage is caused to forestry and agriculture, the economic value of the *C.elaphus* species can be considerable, provided that it is managed properly.

CONCLUSIONS

An increase in the population of the *C.elaphus* species of about 5% was determined in the «Plaiul Fagului» reserve, which is 3 times lower compared to neighboring countries.

In the *C.elaphus* population, 67% are adult individuals, 14% are young and 19% are individuals from the current year, which is an indication of an insignificant natural increase and the fact that a local micropopulation with a normal structure has not been formed.

It has been established that one of the factors of anthropogenic origin, which limits the population of the *C.elaphus* species, is poaching. It began to influence from the very beginning of the reacclimatization process, disrupting the process of forming a stable population.

REFERENCES:

1. CROITOR*, R. Plio-Pleistocene deer of Western Palearctic : taxonomy, systematics, phylogeny. Institute of Zoology of the Academy of Sciences of Moldova.* Elan Poligraf. Chișinău: 2018. 142 p. *ISBN 978-9975-66-609-1. OCLC 1057238213*

2. LOVARI, S. et al. *„Cervus elaphus”. IUCN Red List of Threatened Species*. 2018: 211 p. e.T55997072A142404453.
3. MACDONALD*, D.W.;* BARRETT*, P. Mammals of Europe. New Jersey: Princeton University Press.* 1993: 230 p. *ISBN 0-691-09160-9.*
4. PEREZ-ESPONA, S. et al. „The Impact of Past Introductions on an Iconic and Economically Important Species, the Red Deer of Scotland”. In: *Journal of Heredity*, 2012. 104 (1): p. 14–22.
5. MUNTEANU, A. Mamifere. Natura Rezervației „Plaiul Fagului”. În: *Universul,* 2005, p. 244-265.
6. NISTREANU, V. et al. Clasa mammalia- mamifere. În: *Fauna Rezervației „Plaiul Fagului”. Vertebrate Terestre*. Chișinău: F.E.-P. „Tipografia Centrală”, 2022, p. 89-155. ISBN 978-5-88554-059
7. POSTOLACHE, G., CHIRTOACĂ, V. Flora și Vegetația. Natura rezervației „Plaiul Fagului”. În: *Universul*. 2005, p. 41-216.
8. АВЕРИН, Ю.В., ЛОЗАН, М. Н., МУНТЯНУ, А. И., УСПЕНСКИЙ, Г. А. *Животный мир Молдовы*. Млекопитающие. Кишинев: Штиинца. 1979, 186 с.
9. УСПЕНСКИЙ, Г.А. Итоги и перспективы интродукции новых видов зверей и птиц в Молдавии. În: *Акклиматизация животных в СССР*. Алма-Ата. 1963. с. 245.
10. NISTREANU, V. et al. *Metode de cercetare în teren a faunei de vertebrate terestre.* Indicație metodică. Chișinău, 2021, Tipografia Centrală, 64 p. ISBN 978-5-88554-038-4. pp.39-43.
11. ЛУНКАШУ, М.И., ЕРЁМИН, А.П., ФЕНОГЕНОВ, А.В. Государственное заповедное лесоохотничье хозяйство «Реденский лес». În: *Экология птиц и млекопитающих Молдавии.* Кишинёв, 1981. с. 94-96.
12. ЛУНКАШУ, М.И., ЛОЗАН, А.М., УСПЕНСКИЙ, Г.А., ФЕНОГЕНОВ, А.В. Структура населения и особенности размножения диких копытных. În: *Млекопитающие и птицы антропогенного ландшафта Молдавии и их практическое значение*. Кишинёв. Штиинца, 1986. с. 117-124.
13. МУНТЯНУ, А.И., ЧЕГОРКА, П.Т., ЕРЁМИН, А.П. Пути формирования демографической структуры населения диких копытных животных Молдавии. În: *Экология и охрана птиц и млекопитающих в антропогенном ландшафте.* Кишинёв, 1992. с. 120-131.
14. MUNTEANU, A., ȚURCANU, I. Structura și dinamica populației de cerb nobil (Cervus elaphus L.) în rezervația științifică «Plaiul Fagului». În: *Buletin Științific. Revistă de Etnografie, Științele Naturii și Muzeologie* (Ediție Nouă). Nr. 4(17). 2006. p. 126-130. ISSN 1857-0054
15. BODEA, M., COMȘEA, A., COTTA, V. Vânat și vânătoare. In. *Asociația generală a Vânătorilor și Pescarilor din R.P.R.* 460 p.
16. ЧЕГОРКА, П.Т. Факторы, лимитирующие численность благородных оленей в Молдавии. În: *Охрана природы Молдавии*. Кишинёв. Штиинца, 1988. с. 167-172.

N.B. *The work was carried out within the framework of the subprogram «Assessment of the structure and functioning of the animal world and aquatic ecosystems under the influence of biotic and abiotic factors in the context of ensuring ecological security and population well-being». Subprogram code: 010701*

DIVERSITATEA SPECIILOR DE PĂSĂRI DIN ZONA AEROPORTULUI INTERNAȚIONAL CHIȘINĂU, REPUBLICA MOLDOVA

DIVERSITY OF BIRD SPECIES IN CHISINAU AIRPORT AREA, REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 598.2(478-25) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.66**

Natalia SOCHIRCĂ
ORCID: 0009-0004-6800-6609
E-mail:nataliasochirca232@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andrei MUNTEANU
ORCID: 0009-0005-1242-3793
E-mail: munteanuand@rambler.ru
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*The diversity of bird species at Chisinau International Airport and adjacent territories was established. 79 bird species belonging to 14 orders and 18 families were reregistered. 44 species were recorded on the airport territory, and 76 in adjacent biotopes. The largest share belong to species from the Passeriformes order, which constitute - 61%, the other orders registering a lower percentage. According to the rarity criteria, 4 of the 79 bird species are protected at the national level - Ciconia Ciconia and Cygnus olor in the Red Book of the Republic of Moldova, and internationally - Streptopelia turtur and Falco vespertinus in the IUCN Red List, all with the status of vulnerable species. The research conducted confirms that the presence of a relatively rich diversity of bird species in this type of anthropized ecosystem, specific in structure and utility, provides optimal conditions for feeding, reproduction and recreation of birds, thus contributing to the formation of the ornithofauna in Chisinau and to the conservation of biodiversity in the central area of the republic.*

Keywords: *Chisinau International Airport, bird fauna, diversity, rare species, biotope.*

INTRODUCERE

Aeroporturile sunt ecosisteme antropizate, specific acestora sunt suprafețele mari pe care le ocupă, cu diverse biotopuri, în principal de tip deschis, au acces limitat pentru populație, astfel creând condiții favorabile pentru existența unui număr mare de specii de păsări, dar și a altor grupe de animale. Păsările sunt atrase de teritoriile aeroportului deoarece acesta le oferă abundența de resurse alimentare, factorul de deranj este scăzut, disponibilitatea locurilor de hrană, odihnă, adăpost și cuibărit. Însă prezența speciilor

de vertebrate, în special a păsărilor, pe teritoriile aeroporturilor poate cauza probleme grave aviației. Coliziunile aeronavelor cu animale sălbatice provoacă pierderi de vieți omenești și totodată industria aviației suportă pierderi financiare [1].

Deși păsările reprezintă principalul factor de risc pentru siguranța aeronavelor, prezența altor specii de animale vertebrate și nevertebrate are un impact indirect, fiind principala sursă de hrană pentru multe specii de păsări insectivore și carnivore. În multe părți ale lumii, reglementarea numărului de animale sălbatice în special păsări, pe aeroporturi, este o problemă destul de complexă [1, 2]. În acest context a fost elaborată „Directiva privind păsările în aeroporturi"[3]. Această directivă prevede măsuri radicale vizavi de prezența animalelor sălbatice pe teritoriul aeroporturilor. Acest lucru intră în conflict cu Directivele UE „Habitate" și „Păsări", care au ca scop protejarea naturii din Europa. Astfel UE vine cu o soluție în vederea conservării biodiversității, elaborând „Strategia privind biodiversitatea pentru 2030", care propune să stopeze și să inverseze pierderea biodiversității în întreaga Europă, acordând o atenție deosebită speciilor de plante și animale care sunt în declin grav din cauza urbanizării și intensificării agriculturii [4].

Scopul studiului a fost determinarea diversității speciilor de păsări de pe aeroportul internațional Chișinău și teritoriile adiacente, cu evidențierea speciilor care pot provoca direct sau indirect riscul coliziunii aeronavelor.

MATERIAL ȘI METODĂ

Aeroportul internațional Chișinău este situat în partea de est a orașului Chișinău și are o suprafață de 4271 m^2 acesta se află la altitudinea de 122 m, coordonatele 46055'40''N 28055'51''E. Studiile au fost efectuate pe teritoriul aeroportului internațional Chișinău și ecosistemele adiacente. Teritoriul nemijlocit al aeroportului este format din diverse tipuri de biotopuri acestea fiind reprezentate de pajiști (cosite și necosite), sectoare cu vegetație arbustivă și sectoare cu diferite tipuri de clădiri tehnice, inclusiv abandonate, vegetație arboricolă în apropierea clădirilor și câteva bazine acvatice mici cu scop tehnic (fig.1).



Figura 1. Biotopuri de pe aeroportul internațional Chișinău

Biotopurile adiacente ale aeroportului sunt la fel destul de variate ca structură fiind reprezentate de diverse agroecosisteme (livezi, vii, câmpuri cu culturi agricole – porumb,

floarea-soarelui, cereale), grădini private, sectoare cu clădiri, fâșii forestiere, pajiști, terenuri agricole neprelucrate, biotopuri acvatice, precum și ecotonuri, care creează pentru multe specii de păsări coridoare de trecere către aeroport (fig. 2).



Figura 2. Biotopuri adiacente aeroportului internațional Chișinău

Cercetările asupra diversității speciilor de păsări s-au efectuat atât pe teritoriul aeroportului, cât și în zona adiacentă pe o rază de 3 km. Pentru estimarea speciilor de păsări au fost folosite metodele clasice de observație a păsărilor – metoda traseelor, cu o lungime de cca 3 km, și observații din punctul fix cu alegerea unor puncte fixe în anumite locuri și durata constantă a observațiilor – de 10 minute [5, 6].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În ultimii ani a crescut numărul de incidente a animalelor sălbatice cu aeronavele, înregistrată la nivel mondial, aceasta reprezintă o amenințare serioasă la adresa siguranței traficului aerian [1, 2]. Unii din factorii responsabili pentru creșterea numărului de incidente se numără creșterea traficului aerian la scară globală, dar și alți factori care la rândul lor pot contribui la această creștere, cum ar fi creșterea numărului de specii de animale sinantrope sau prezența unor situri atractive în apropierea aeroporturilor, cum ar fi depozitele de deșeuri și iazurile de piscicultură [1].

În urma cercetărilor efectuate pe aeroportul internațional Chișinău și biotopurile imediat apropiate de acesta în raza de 3 km au fost semnalate 79 de specii de păsări (tab. 1).

Tabelul 1. Ornitofauna aeroportului internațional Chișinău și biotopurilor adiacente

No	Speciile de păsări	Diversitate		Statutul IUCN/ CRM
		Teritoriul Aeroportului	Biotopurile adiacente	
Ordinul Anseriformes				
1	*Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
2	*Cygnus olor* Gmelin, 1789		**x**	**LC/VU**

3	*Anser anser* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
	Ordinul Galliformes			
4	*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Columbiformes			
5	*Columba palumbus* Linnaeus, 1758	**x**	x	**LC**
6	*Streptopelia turtur* Linnaeus, 1758		x	**VU**
7	*Columba livia domestica* Gmelin, 1789	**x**	x	**LC**
	Ordinul Charadriiformes			
8	*Tringa ochropus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
	Ordinul Ciconiiformes			
9	*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC/VU**
	Ordinul Pelecaniformes			
10	*Ardea cinerea* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
11	*Ardea purpurea* Linnaeus, 1785		**x**	**LC**
12	*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766	**x**	**x**	**LC**
13	*Nycticorax nycticorax* Linnaeus,1758		**x**	**LC**
	Ordinul Falconiformes			
14	*Falco vespertinus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**VU/VU**
15	*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
16	*Falco subbuteo* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
17	*Falco columbarius* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Accipitriformes			
18	*Accipiter nisus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
19	*Buteo buteo* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
20	*Circus aeruginosus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
21	*Circus cyaneus* Linnaeus, 1766		**x**	**LC**
22	*Buteo lagopus* Pontoppidan, 1763	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Strigiformes			
23	*Athene noctua* Scopoli, 1769	**x**		**LC**
24	*Otus scops* Linnaeus, 1758	**x**		**LC**
25	*Asio otus* Linnaeus, 1758	**x**		**LC**
	Ordinul Coraciiformes			
26	*Merops apiaster* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Bucerotiformes			
27	*Upupa epops* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Piciformes			
28	*Dendrocopos syriacus* Ehrenberg, 1833		**x**	**LC**
29	*Dendrocopos major* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**

30	*Picus canus* Gmelin, 1789		**x**	**LC**
	Ordinul Apodiformes			
31	*Apus apus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Ordinul Passeriformes			
32	*Passer domesticus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
33	*Passer montanus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
34	*Anthus campestri* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
35	*Poecile palustris* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
36	*Cyanistes caeruleus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
37	*Parus major* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
38	*Aegithalos caudatus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
39	*Sylvia curruca* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
40	*Sylvia communis communis* Latham, 1787	**x**	**x**	**LC**
41	*Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
42	*Serinus canaria* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
43	*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
44	*Emberiza schoeniclus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
45	*Emberiza hortulana* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
46	*Certhia familiaris* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
47	*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
48	*Saxicola rubetra* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
49	*Phoenicurus ochruros* Gmelin, 1779		**x**	**LC**
50	*Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
51	*Phoenicurus phoenicurus* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
52	*Turdus pilaris* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
53	*Bombycilla garrulus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
54	*Anthus campestris* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
55	*Lanius excubitor* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
56	*Coccothraustes coccothraustes* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
57	*Lanius collurio* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
58	Motacilla alba, Linnaeus 1758	**x**	**x**	**LC**
59	*Motacilla* flava Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
60	*Delichon urbicum* Linnaeus, 1758)	**x**	**x**	**LC**
61	*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
62	*Anthus campestris* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
63	*Pica pica* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
64	*Oriolus oriolus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**

65	*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
66	*Turdus merula* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
67	*Corvus corax* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
68	*Corvus monedula* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
69	*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
70	*Garrulus glandarius* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
71	*Corvus corone cornix* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
72	*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
73	*Chloris chloris* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
74	*Galerida cristata* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
75	*Alauda arvensis* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
76	*Miliaria calandra* Linnaeus, 1758		**x**	**LC**
77	*Phoenicurus ochruros* Gmelin, 1774		**x**	**LC**
78	*Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817	**x**	**x**	**LC**
79	*Cuculus canorus* Linnaeus, 1758	**x**	**x**	**LC**
	Total specii	**44**	**76**	

Notă: IUCN- Lista roșie a Uniunii Internaționale pentru Conservarea Naturii; **CRM** – Cartea roșie a Republicii Moldova; **LC** – Least Concern; **VU** – specie vulnerabilă

Din numărul total de specii de păsări cca 44 de specii au fost semnalate pe teritoriul aeroportului iar în biotopurile adiacente aeroportului au fost înregistrate cca 76 specii de păsări. Numărul speciilor din ambele zone este relativ, deoarece păsările sunt permanent în mișcare. Varietatea mai mare de specii din teritoriile adiacente se datorează prezenței diferitor tipuri de biotopuri. Agroecosisteme adiacente sunt habitate valoroase pentru păsări, oferindu-le condiții favorabile pentru cuibărit, hrană și popas.

Cele 79 de specii de păsări sunt incluse în Lista roșie a Uniunii Internaționale pentru Conservarea Naturii, 77 dintre acestea au statut LC, ceea ce denotă că speciile respective nu sunt amenințate cu dispariția, iar două dintre specii *Streptopelia turtur* și *Falco vespertinus* au statut de specii vulnerabile [7]. Una dintre aceste specii *Falco vespertinus* se regăsește și în Cartea Roșie a Republicii Moldova la fel cu statut de specie vulnerabilă. Alte două specii *Ciconia Ciconia* și *Cygnus olor* care sunt protejate, au statut de specii vulnerabile [8]. Astfel, ecosistemele antropizate ale aeroportului internațional Chișinău și teritoriile adiacente acestuia oferă condiții favorabile pentru întreținerea unei diversități relativ bogate de specii de păsări, contribuind direct sau indirect la formarea ornitofaunei din zona centrală a Republicii și conservarea biodiversității lumii animale din această zonă.

În perioada de studiu, păsările răpitoare (*Buteo buteo, Falco tinnunculus, Accipiter nisus, Athene noctua*) au fost adesea observate pe teritoriul aeroportului, chiar și pe pista de zbor a aeronavelor la diferite înălțimi. Prezența acestora pe teritoriul aeroportului este determinată de doi factori atractivi, și anume, locuri de cuibărit (copaci solitari cu

coronament bine dezvoltat și clădiri abandonate) și resursele trofice în special șoarecele de câmp, care prezintă cicluri multianuale și ating maxime ale densității la fiecare 3-5 ani [9]. Multe păsări de pradă sunt atrase de zone precum aeroporturile în timpul vârfurilor acestor cicluri populaționale [2].

Pentru păsările de pradă nocturne, șoarecii de câmp *Microtus* sunt de obicei prada preferată, dar în dieta *Athene noctua* o proporție mare o constituie insectele și alte nevertebrate [10, 11, 12]. Pe aeroportul Chișinău, principala pradă a speciei *Athene noctua* a fost șoarecele de casă, din cauza teritoriului puternic antropizat și prezența în apropiere de aeroport a localităților [8].

Cea mai periculoasă pentru siguranța zborurilor este perioada migrațiilor de toamnă și primăvară, atunci când în coridoarele de zbor ale aeronavelor pot fi semnalate coliziuni accidentale ale păsărilor cu aeronavele, care din păcate nu pot fi prevenite.

CONCLUZII

Pe aeroportul internațional Chișinău și biotopurile adiacente au fost înregistrate 79 specii de păsări care fac parte din 14 ordine și 15 familii, ponderea cea mai mare o dețin Passeriformes – 61% celelalte ordine înregistrând un procent semnificativ mai scăzut, variind între 7% și 1%.

Din numărul total de specii de păsări 48 au fost semnalate pe teritoriul aeroportului, iar 76 în biotopurile adiacente.

După criteriul de raritate 4 din cele 79 de specii de păsări (*Ciconia ciconia*, *Cygnus olor*, *Streptopelia turtur* și *Falco vespertinus*) sunt protejate la nivel național, iar *Streptopelia turtur* și *Falco vespertinus* - la nivel internațional (IUCN), toate patru specii au statut de vulnerabile.

REFERINȚE:

1. SOLDATINI C., ALBORES-BARAJAS Y.V., LOVATO T., ANDREON A., TORRICELLI P., MONTEMAGGIORI A., CORSA C., GEORGALAS V. Wildlife strike risk assessment in several Italian Airports: Lessons From BRI And A New Methodology Implementation. In: *PLoS ONE* (2011) 6(12): e28920. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028920
2. BAKER J.A., BROOKS R.J. Raptor and vole populations at an airport. In: *Journal of Wildlife Management,* 1981; 45: 390-396.
3. Directiva privind păsările în aeroporturi. Disponibil: https://impel.eu/ro/topics/nature-protection/habitat-directive-enforcement/projects/birds-directive-at-airports [Accesat: 23.06.2025].
4. Strategie privind biodiversitatea 2030 UE. Disponibil: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en [Accesat: 23.06.2025].
5. BIBBY, Colin, JONES, Martin, MARSDEN, Stuart. Expedition Field Techniques: Bird Surveys. Royal Geographical Society, London, 1998, 252 p

6. NISTREANU, V., SAVIN, A., ȚURCAN, V., LARION A., PALADI, V., SÎTNIC, V. *Metode de cercetare în teren a faunei de vertebrate terestre*. Indicație metodică. Chişinău : F.E.-P. "Tipografia Centrală", 2021, 64 p. ISBN 978-5-88554-038-04
7. IUCN Red List of Threatened Species. Disponibil: https://www.iucnredlist.org (accesat: 03 iunie, 2025).
8. *Cartea Roşie a Republicii Moldova*. ediția a III-a. Chişinau, Ştiinţa, 2015, p. 269-330. ISBN 978-9975-67-998-5
9. NISTREANU, V., LARION, A. Mammal fauna of Chisinau Airport. Republic of Moldova One Health & Risk Management. 2022, vol. 3, nr. 1, p. 53-61. ISSN 2587-3458. https://journal.ohrm.bba.md/index.php/journal-ohrm-bba-md/article/view/292/274
10. GOSZCZYŃSKI J. Connection between predatory birds and mammals and their prey. *Acta Theriol.*1977; 22*:* 399–430.
11. ROMANOWSKI J. Trophic ecology of *Asio otus* (L.) and *Athene noctua* (Scop.) in the suburbs of Warsaw. *Pol. Ecol. Stud.* 1988; 14: 223–234.
12. ЗУБКОВ НИ. Трофические связи сов в биоценозах Молдавии. *Экология птиц и млекопитающих Молдавии.* Кишинэу «Штиинца», 1981. с. 79-94.

N.B.*Studiul a fost efectuat în cadrul subprogramului USM 010701 și contractului nr. 01-23p-096/03-05-2024, finanțat de Fondul Național de Mediu.*

Mulțumiri: Exprimăm gratitudinea noastră colegilor, care au contribuit semnificativ la efectuarea cercetărilor: dr. Nicolai Zubcov, dr. larisa Bogdea și d-nei Ludmila Buciuceanu.

REZERVAȚIILE DE RESURSE DE SOL DIN ZONA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA – MONUMENTE NATURALE VALOROASE PROTEJATE DE STAT

SOIL RESOURCE RESERVES IN THE SOUTHERN AREA OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA – VALUABLE NATURAL MONUMENTS PROTECTED BY THE STATE

CZU: 502.7:631.4(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.67**

Anatolie TĂRÎȚĂ
ORCID: 0000-0002-7152-3023
E-mail: anatolietarita@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stata din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Aureliu OVERCENCO
ORCID: 0009-0006-3188-5843
E-mail: overcenco@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stata din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Anna COMARNIȚCHI
ORCID: 0000-0002-6759-4339
E-mail: nesea90.aa@gmail.com
Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stata din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *According to the Law on the State Protected Natural Areas Fund no. 1538/1998, the total area of the FANPS is 210,695.87 ha (2106.96 km2) or 5.8% of the total territory of the country. The resource reserves aim to conserve natural resources in order to maintain them in their natural state for subsequent sustainable valorification. Annex no. 6, of Law no. 1538 of 25.02.1998 regarding the fund of natural areas protected by the state includes the Resource Reserves (soil, 13 in number) which is meant to protect complexes of virgin soils and the most representative types of soils, some in their natural state and others in the agricultural circuit.*

Keywords: *protected area, ecosystem, pedological profile, resource reserves, soil.*

INTRODUCERE

Sistemul de **Arii Naturale Protejate de Stat** din Republica Moldova, în general, acoperă practic toate **ecosistemele naturale**, cum ar fi pădurea, stepa, lunca și ecosistemele petrofite. Conform Legii privind Fondul Ariilor Naturale Protejate de Stat nr. 1538/1998,

suprafața totală a FANPS **constituie 210 695,87 ha (2106,96 km^2) sau 6,2%** din teritoriul total al țării. FANPS implică un număr total de: 312 obiecte și complexe protejate de stat. FANPS include: Parcuri Naționale; Rezervația Biosferei; cinci rezervații științifice; monumente ale naturii (geologice și paleontologice, hidrologice, botanice); rezervații naturale (silvice, de plante medicinale, mixte); rezervații de peisaje geografice; rezervații de resurse; zone umede de importanță internațională (Ramsar); monumente de arhitectură peisageră.

Rezervațiile de Resurse (Anexa 6) au ca obiectiv conservarea resurselor naturale pentru menținerea lor în stare naturală în vederea valorificării ulterioare durabile. Anexa nr. 6, a Legii nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat include Rezervațiile de resurse (de sol, 13 la număr) care are menirea de a proteja complexe de soluri virgine și tipuri de soluri cele mai reprezentative, unele în stare naturală și altele aflate în circuitul agricol.

METODELE ȘI MATERIALE: descrierea morfologică a solului în teren, determinarea proprietăţilor fizice, fizico-chimice determinate după standardele și metodele cunoscute-higroscopicitatea, humusul, pH-ul, aciditatea hidrolitică [1,3,4,5].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În articolul de față vom prezenta rezultatele privind evaluarea Rezervațiilor de resurse. Amplasamentul acestora este prezentată în figura 1.

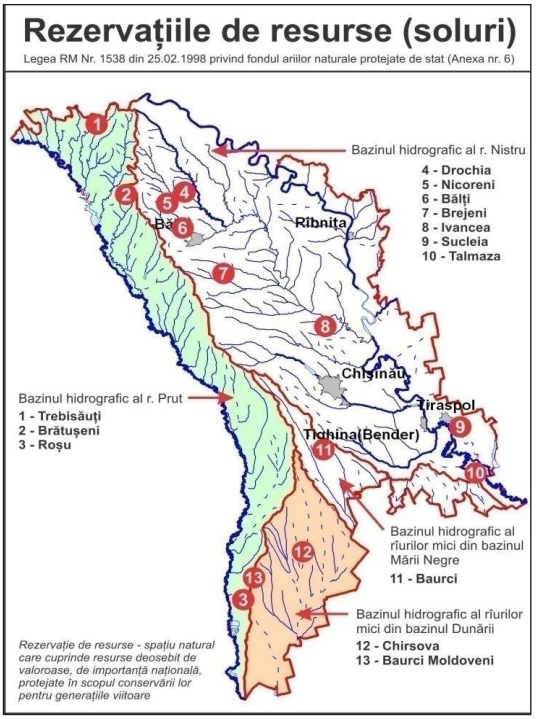


Figura 1. Schema amplasării Rezervațiilor de Resurse incluse în Anexa 6 a Legii nr. 1538/1998.

În continuare prezentăm (în ordinea numerică conform Anexei 6 la Legea nr. 1538/1998) evaluarea stării Rezervațiilor de resurse protejate de stat amplasate în zona de sud a Republicii Moldova.

RR nr. 2. Cernoziom micelar-carbonatic gras al zonei dunărene de stepă

Rezervaţie de resurse (Legea nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat): *Rezervaţie naturală* (Categoria IV IUCN).

Amplasamentul: Câmpul nr. 10 al asolamentului de sud-est din satul Roşu, r-nul Cahul.

Condiţiile pedogenetice (relief, rocă, vegetaţie): Teritoriul Rezervaţiei reprezintă un versant al terasei Prutului slab înclinat spre vest. Altitudinea 120-150 m. Rocă parentală - lut loessoid, vegetaţie - culturi agricole.

Amplasarea profilului pedologic: Profilul (nr. 101) cernoziomului carbonatic a fost amplasat la 500 m sud-est de satul Roşu (N 45°57′00″; E 28°12′45″). Relief - versant vestic, înclinaţia 2-4°. Altitudinea 134 m. (Foto 1).

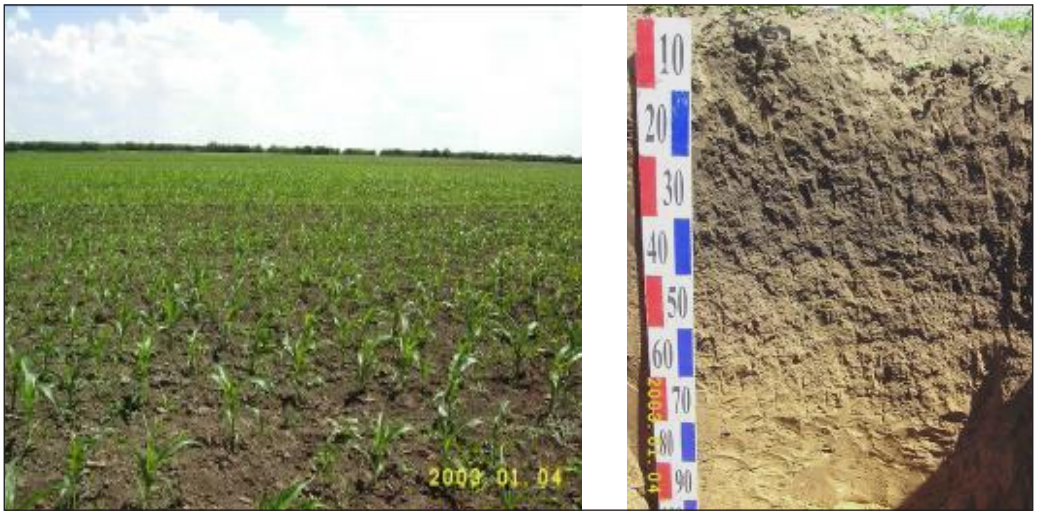


Foto 1. Amplasamentul profilului pedologic.

Descrierea morfologică a profilului: Aar (0–18 cm) - cenuşiu închis, reavăn, destructurat, slab tasat, lutos; A (18–38 cm) - cenuşiu închis cu nuanţe cafenii, reavăn, structura glomerulară mică slab pronunţată, slab tasat, lutos; B_1 (38–55 cm) - cenuşiu-cafeniu, omogen, reavăn, structura grăunţoasă mare, slab pronunţată, puţin stabilă, tasat lutos; B_2 (55 –73 cm) - brun-gălbui, neomogen, reavăn nestructurat, tasat, lutos; BC (73–110 cm) - neomogen, gălbui cu pete brune şi albicioase ($CaCO_3$), lutos.Profilul este biogen, străbătut de canale de râme. Efervescenţa de la suprafaţă.

Componenţa fizico-chimică: Cernoziomul carbonatic este slab humificat, moderat profund. În orizontul A sunt 2,2% de humus, la adâncimea 60-70 cm conţinutul de

humus este mai mic de 1%. Carbonaţii sunt prezenţi de la suprafaţă, reacţia solului este bazică 7,6-8,4. Suma cationilor schimbabili descreşte de la 35,8 în orizontul A la 16,4 în orizontul BC (adâncimea 90-100 cm).

Tabelul 1. Componenţa fizico-chimică.

Adânci-mea, cm	Higro-sco-pici-tatea, %	Hu-mus,%	Ca-$CO_{3,}$%	Ca^{2+}, me/100g sol	Mg^{2+}, me/100g sol	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, me/100g sol	pH
0-15	3,00	2,2	4,00	25,96	9,88	35,84	7,60
20-30	3,27	2,0	3,39	26,85	9,50	36,35	7,80
40-50	2,66	1,4	13,54	14,37	5,34	19,71	8,10
60-70	2,59	0,9	14,89	12,31	6,16	18,47	8,35
90-100	2,20	0,6	22,46	11,45	4,90	16,35	8,35

Denumirea solului conform clasificării (Ursu, 1999): *Cernoziom carbonatic slab humifer, moderat profund, lutos, valorificat.*

Concluzie: Teritoriul Rezervaţiei, nefiind delimitat în natură a fost privatizat şi divizat în cote valorice. Actualmente solul este lucrat şi utilizat în deferit mod, preponderent pentru cultivarea porumbului şi altor culturi anuale. Asolamentul nu se respectă. Stratul arabil este tasat, dezagregat, solul supus dehumificării.

Recomandări: Se propune excluderea acestui obiect din FANPS.

RR nr. 3 Cernoziom xerofitic de pădure al zonei dunărene de stepă

Rezervaţie de resurse (Legea nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat): *Rezervaţie naturală* (Categoria IV IUCN).

Amplasamentul: Amplastă la est de s. Baurci-Moldoveni, pe teritoriul întreprinderii silvo-cinegetice „Manta-V”, parcelele 24, 25, 36, 37. Suprafaţa ariei în urma revalidarii – 224,88 ha., (Fig. 2)

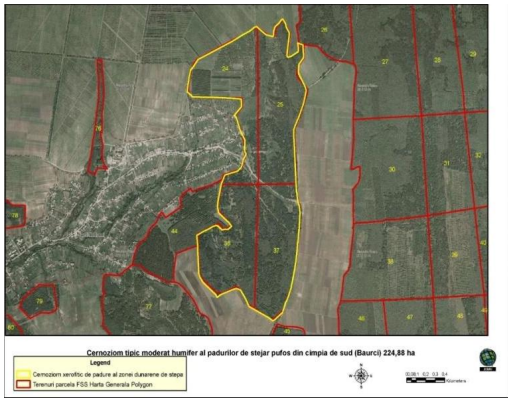


Figura 2. Schema amplasării Rezervaţiei.

Coordonatele geografice ale Rezervaţiei:

N	E
46,048755	28,258740
46,046634	28,267862
46,031950	28,264622
46,033574	28,253795

Condiţiile pedogenetice (relief, rocă, vegetaţie): Teritoriul Rezervaţiei este amplasat pe un platou cu altitudini 210-230 m. Construcţia geologică uniformă, predomină lut-argilos loessoid. Vegetaţia diferită (porumbar, păducel, alt.), caracteristică pădurilor de stejar pufos.

Amplasamentul profilul pedologic: Profilul a fost amplasat în paretea de sud a Dealului Tigheci, la 1500 m spre nord de s. Baurci-Moldoveni, raionul Cahul (N 46°02′40″; E 28°16′02″), pe platou, la altitudinea 226 m, roca parentală – lut argilos, în cadrul unei păduri de stejar pufos cu amestec de diferite specii. (Foto 2).

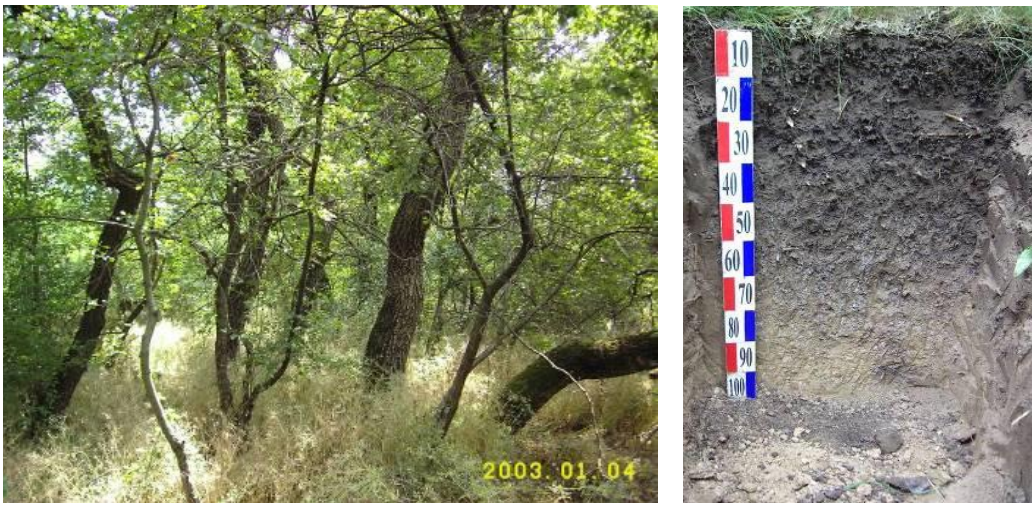


Foto 2. Amplasamentul profilului pedologic.

Descrierea morfologică a profilului: A_0 (0–4 cm) - cenuşiu închis, omogen, reavăn, slab tasat, structurat, structură glomerulară mică şi medie, împănat cu rădăcini, luto-argilos; A_1 (4-30 cm) - cenuşiu închis, reavăn, slab tasat, bine structurat, structură grăunţoasă medie, stabilă, rădăcini, luto-argilos; B_1 (30–52 cm) - cenuşiu cu nuanţe brune, reavăn, structură grăunţoasă medie şi mare slab pronunţată, pseudo-miceliu carbonatic, canale de râme, luto-argilos; B_2 (52–75 cm) - neomogen pestriţ, brun, cu pete cenuşii, reavăn, neevident, structurat, tasat, luto-argilos;

BC (75–100 cm) - neomogen, gălbui cu pete brune şi cenuşii, reavăn, diferite forme de carbonaţi, tasat, lut argilos. Profilul este biogen, efervescenţa de la 40 cm.

Componenţa fizico-chimică a solului: Conţinutul de humus în orizontul A constituie 7%, scăzând brusc în la adâncimea de 15-25 cm până la 3,3%, micşorându-se lent spre adâncime. Carbonaţii apar în orizontul B2, care în BC conţin 16%. Reacţia solului de la suprafaţă este slab alcalină, şi se intensifică spre adâncime. Suma cationilor schimbabili este între 20,56 şi 34,30 me/100 g sol.

Tabelul 2. Componenţa fizico-chimică a solului.

Adânci-mea, cm	Higro-sco-pici-tatea, %	Hu-mus,%	Ca-CO_3,%	Ca^{2+}, me/100g sol	Mg^{2+}, me/100g sol	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, me/100g sol	pH
0-4	4,46	7,1	-	30,08	4,22	34,30	7,40
15-25	3,81	3,3	-	24,50	4,15	28,65	7,75
35-45	3,97	2,6	-	25,16	4,37-	29,53	7,95
60-70	3,40	1,6	13,39	20,27	4,13	24,40	8,20
90-100	2,80	0,8	16,10	15,63	4,94	20,56	8,40

Denumirea solului conform clasificării (Ursu, 1999): *Cernoziom tipic moderat humifer, moderat profund, luto-argilos, virgin.*

Concluzie: Landşaftul silvo-stepei de stejar pufos şi cernoziom tipic moderat humifer corespunde condiţiilor Rezervaţiei de resurse.

Recomandări: Se recomandă denumirea actualizată -***Cernoziom tipic moderat humifer al pădurilor de stejar pufos din Câmpia de Sud (Baurci)***.

RR nr. 4. Cernoziom compact al zonei dunărene de stepă

Rezervaţie de resurse (Legea nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat): *Rezervaţie naturală* (Categoria IV IUCN).

Amplasamentul: Raionul Căuşeni, satul Baurci, asolamentul de câmp lângă pădurea Ocolului Silvic Zloţi, suprafaţa 5 ha.

Condiţiile pedogenetice (relief, rocă, vegetaţie): Teritoriul Rezervaţiei este amplasat în apropierea pădurii de foioase, pe un versant sud-estic cu înclinaţia 2-4°. Rocile parentale - argile neogene terţiare, luturi argiloase şi nisipuri lutoase cuaternare. Vegetaţia - culturi anuale de câmp.

Amplasarea profilului pedologic: Profilul a fost amplasat la 300 m nord-vest de satul Baurci, com. Chircăieştii Noi (N 45°37′01″; E 28°56′37″), pe un versant cu înclinaţia 2°, la altitudinea 244 m. (Foto 3).

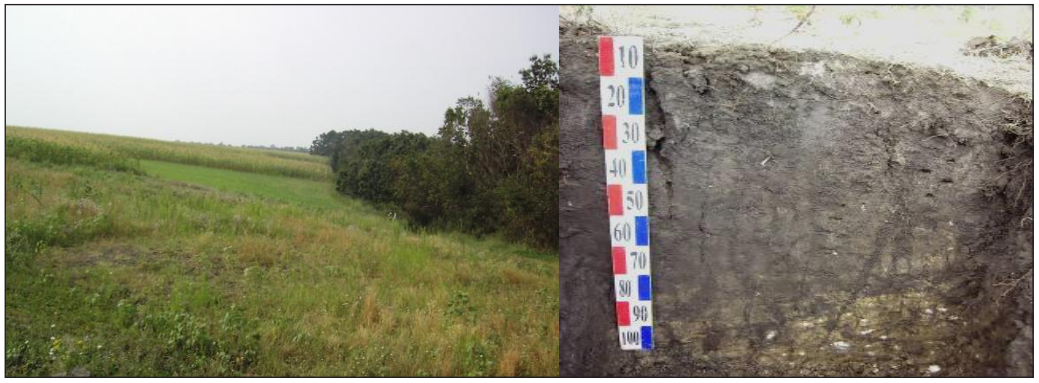


Foto 3. Amplasamentul profilului pedologic.

Descrierea morfologică a profilului: A_1 (0–36 cm) - cenuşiu închis, uscat, dur, structură glomerulară mare, stabilă, crăpături, argilos; B_1 (36–68 cm) - cenuşiu închis, cu nuanţe brune, reavăn, structură nuciformă, bulgăroasă slab pronunţată, stabilă argilos; B_2 (68–82 cm) - neomogen, pestriţ, gălbui, cu pete cenuşii, dur, structură bulgăroasă, cu feţe lunecoase, argilos; C (82–110 cm) - galben-cenuşiu neomogen, cu aglomerări (pete albicioase) de carbonaţi, dur argilos.

Componenţa fizico-chimică: Conţinutul de humus în orizontul A constituie 4,6%, scăzând lent până la 1% în C. În orizontul B_1 se depistează carbonaţi, care sporesc de la 2,3% până la 13,6% în rocă. Reacţia solului la suprafaţă este neutră, spre adâncime devine slab alcalină. Suma cationilor schimbabili este ridicată şi este de la 34 pînă la 49 me/100 g sol.

Tabelul 3. Componenţa fizico-chimică.

Adânci-mea, cm	Higro-scopici-tatea, %	Humus, %	$CaCO_3$, %	Ca^{2+}, me/100 g sol	Mg^{2+}, me/100 g sol	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, me/100 g sol	pH
0-10	5,8	4,6	-	35,11	11,42	46,53	7,9
20-30	7,5	4,0	-	37,83	11,61	49,44	7,7
40-50	6,1	3,1	2,3	29,80	17,18	46,98	8,2
60-70	6,2	2,0	7,7	24,65	15,29	39,94	8,4
70-80	6,4	1,8	7,8	-	-	-	8,4
90-100	5,9	1,0	13,6	19,06	15,30	34,36	8,9

Denumirea solului conform clasificării (Ursu, 1999): *Cernoziom vertic profund argilos valorificat.*

Concluzie: Teritoriul Rezervaţiei nu a fost delimitat în natură, terenul amplasamentului Rezervației a fost supus privatizării şi divizat în cote valorice. Solul este lucrat în mod diferit, în măsura posibilităţilor deţinătorilor şi folosit pentru creşterea culturilor agricole anuale. Textura argiloasă condiţionează proprietăţile nefavorabile şi productivitatea redusă a cernoziomului vertic. Stratul arabil este dezagregat, dur, fisurat. Condiţiile reale nu permit respectarea cerinţelor necesare de conservare.

Recomandări: Se propune excluderea Rezervației din FANPS.

RR nr. 5. Cernoziom obişnuit al zonei dunărene de stepă

Rezervație de resurse (Legea nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat): *Rezervație naturală* (Categoria IV IUCN).

Amplasamentul: Rezervaţia este amplasată în cadrul lotului experimental al Institutului de Pedologie, Agrochimie şi Protecţie a Solului „N. Dimo”, brigada de tractoare nr. 2, câmpul nr. 7 al gospodăriei agricole „Maiac”. Suprafaţa 4,0 ha. (Fig. 3).



Figura 3. Schema amplasării rezervației.

Coordonatele geografice ale Rezervației:

N	E
46,236467	28,614742
46,236750	28,617400
46,235237	28,617779
46,235267	28,615050

Condiţiile pedogenetice (relief, rocă, vegetaţie): Rezervaţia este amplasată pe o terasă înaltă a r. Ialpug cu altitudinea 130-160 m, formată pe lut loessoid. Vegetaţia - culturi anuale de câmp.

Amplasarea profilului pedologic: Profilul (nr. 100) a fost amplasat pe un teren foarte slab înclinat (1-2°), spre est la 2 km de satul Chirsova, UTA Găgăuzia (N 45°14,198′; E 28°36,786′). Altitudinea - 136 m. Roca parentală – lut argilos, vegetaţia – culturi anuale de cîmp, (Foto 4).



Foto 4. Amplasamentul profilului pedologic.

Descrierea morfologică a profilului: Aar (0–24 cm) - cenuşiu închis, omogen, reavăn, slab tasat, bolovănos, destructurat, luto-argilos; A_1 (24–42 cm) - cenuşiu închis, omogen, reavăn, slab tasat, structură glomerulară medie şi mică, pronunţată, puţin stabilă, luto-argilos; B_1 (42–63 cm) - cenuşiu-brun, reavăn, tasat, structură granulară medie, puţin stabilă, luto-argilos; B_2 (63–86 cm) - neomogen, brun-gălbui cu pete albicioase, structura neevidentă, canale de râme, caproliţi, tasat, luto-argilos; C (86–110 cm) - neomogen, gălbui, pestriţ (carbonaţi), tasat, lut-argilos.

Construcţia profilului este tipică cernoziomică. Efervescenţa de la 70 cm.

Componenţa fizico-chimică: Cernoziomul tipic slab humifer în orizontul Aar conţine 3,3% de humus, care scade uşor spre adâncimea 90-100 cm, ajungând la 1,3%. Carbonaţii sunt prezenţi de la adâncimea 70-80 cm în orizontul B2, reacţia solului este bazică 7,3-8,1. Suma cationilor schimbabili atinge valoarea 40,3 me/100 g sol la suprafaţă, şi scade până la 37,2 me/100 g sol în orizontul C.

Tabelul 4. Componenţa fizico-chimică.

Adâncimea, cm	Higroscopicitatea, %	Humus, %	$CaCO_3$, %	Ca^{2+}, me/100 g sol	Mg^{2+}, me/100 g sol	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, me/100 g sol	pH
0-20	3,81	3,3	-	27,82	12,46	40,28	7,3
30-40	4,08	2,8	-	29,14	13,74	42,88	7,4
50-60	4,30	2,4		27,95	12,94	40,89	7,5
70-80	3,95	1,7	7,92	28,27	12,06	40,33	8,0
90-100	3,45	1,3	4,90	25,24	12,00	37,24	8,1

Denumirea solului conform clasificării (Ursu, 1999): *Cernoziom tipic slab humifer (obişnuit) profund luto-argilos valorificat.*

Concluzie: Condiţiile lotului experimental ştiinţific al Institutului „N. Dimo" permit respectarea unui regim special, corespunzător cerinţelor rezervaţiei de resurse.

Recomandări: Se propune denumirea actualizată -***Cernoziom tipic slab humifer (obişnuit) al zonei Stepei Câmpiei de Sud (Chirsova)***.

RR nr.12. Cernoziom obișnuit gras al zonei basarabene de stepăcompact al zonei dunărene de stepă

RR se află în regiunea transnistreană (r-nul Slobozia) – informație lipsă.

RR nr. 13 Complex de soluri aluvionare, carbonatate, cernoziomice, de fâneaţă, mlăştinoase şi înnămolite ale zonei basarabene de stepă

Rezervaţie de resurse (Legea nr. 1538 din 25.02.1998 privind fondul ariilor naturale protejate de stat): *Rezervaţie naturală* (Categoria IV IUCN). **Amplasamentul:** Ocolul silvic Talmaza, bălţile Talmaza, parcelele 9, 10, 13; pădure şi fâneaţă de luncă pe o suprafaţă de 200 ha (în urma revalidării - 278,02 ha, parcelele 59-61), (Fig. 4).

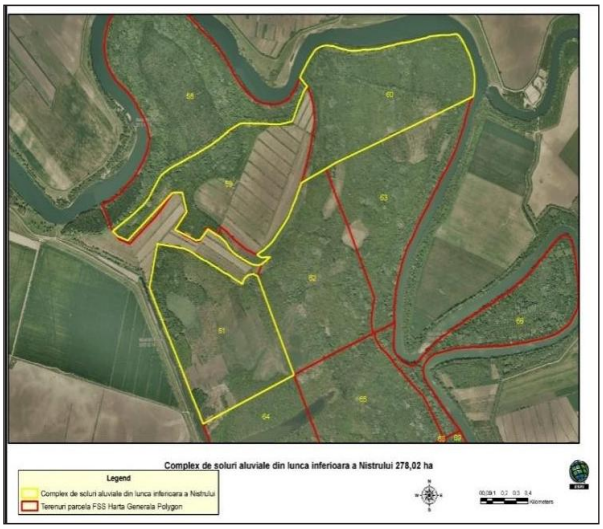


Figura 4. Schema amplasării Rezervației.

Coordonatele geografice ale Rezervației:

N	E
46,667457	29,761340
46,657289	29,737430
46,649551	29,730882
46,644612	29,734657

Condiţiile pedogenetice (relief, rocă, vegetaţie): Teritoriul rezervaţiei prezintă un sector de luncă în cursul inferior al Nistrului cu altitudinile 10-13 m, depuneri aluviale cu straturi recente.

Amplasarea profilului pedologic: Profilul a fost amplasat în apropierea albiei Nistrului pe sector inundabil în pădure antropică de plopi pe depozitele aluviale recente (N 46°39,386'; E 29°43,197'), (Foto 5).

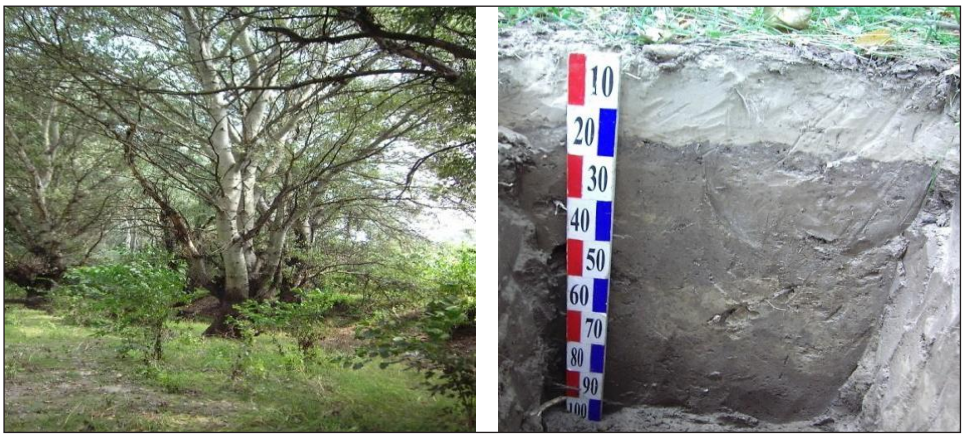


Foto 5. Amplasamentul profilului pedologic.

Descrierea morfologică a profilului: I (0-15 cm) - strat aluvial nisipos, de culoare cenuşie-deschisă, reavăn, foarte slab tasat; II (15-50 cm) - neomogen, brun-cenuşiu, luto-nisipos, fără structură, slab tasat; III (50-65 cm) - neuniform, brun-galben, reavăn, slab tasat, luto-nisipos cu pete cenuşii-deschise; IV (65-95 cm) - brun închis, nisipo-lutos, reavăn, nestructurat; V (95-110 cm) - cafeniu, neomogen, reavăn, nisipo-lutos, nestructurat.

Componenţa fizico-chimică: Conţinutul de humus este redus (0,82-1,21%) în stratul aluvial recent depus substanţa organică este prezentată de mici fragmente. Solul pe întreg profil este carbonatic (5,4-8,4% $CaCO_3$), reacţia solului slab alcalină (pH 7,8-7,9).

Tabelul 5. Componenţa fizico-chimică.

Adânci-mea, cm	Higro-scopici-ta-tea, %	Humus, %	$CaCO_3$, %	Ca^{2+}, me/100 g sol	Mg^{2+}, me/100 g sol	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, me/100 g sol	pH
0-15	0.8	0.19	5.4	4.8	0.4	5.2	7.8
15-50	2.0	1.16	8.0	14.0	2.4	16.4	7.8
50-65	1.5	0.82	8.4	12.0	3.2	15.2	7.8
65-95	2.3	1.21	8.0	15.2	4.4	19.6	7.9
95-100	2.7	0.92	8.1	14.0	4.0	18.0	7.9

Denumirea solului conform clasificării (Ursu, 1999): *Sol aluvial stratificat carbonatic luto-nisipos.*

Concluzie: Rezervaţia asigură respectarea cerinţelor necesare.

Recomandări: Se propune denumirea actualizată -***Complex de soluri aluviale din lunca Nistrului Inferior (Talmaza)***.

REFERINȚE:

1. SM ISO 10381-2-2014 Calitatea solului. Prelevarea probelor. Partea 2: Linii directoare privind tehnicile de eșantionare.
2. URSU, A. Clasificarea solurilor Republicii Moldova. – Chişinău, SNMŞS, 2001. – 40 p.
3. GOST 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО.
4. GOST 26213 Методы определения органического вещества.
5. GOST 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки.

STAREA ACTUALĂ A ALGELOR PLANCTONICE DIN GRUPA *CHLOROPHYTA* ÎN LACUL DE ACUMULARE DUBĂSARI

THE CURRENT STATE OF PLANKTONIC ALGAE FROM THE CHLOROPHYTA GROUP IN THE DUBĂSARI RESERVOIR

CZU: 582.263:556.55(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.68**

Laurentia UNGUREANU
ORCID: 0000-0003-4576-2810
E-mail: laurentia.ungureanu@sti.usm.md
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chisinau, Republica Moldova

Daria TUMANOVA
ORCID: 0009-0002-3589-8933
E-mail: daria.tumanova@gmail.com
Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chisinau, Republica Moldova

Summary. *The article presents the results of the investigations on diversity and quantitative parameters of planktonic algae from Chlorophyta group during 2020-2024 in Dubasari Reservoir. There were presented by 29 species and varieties which are belongs to four orders: Volvocales-4, Chlorellales-3 Sphaeropleales -21, Desmidiales-1. It was established that the decrease in the diversity of algae from this group compared to previous years. The highest diversity of green algae was attested in the middle and lower sectors of the reservoir. In the formation of the number of species, green algae constituted about 60%, being more diverse in the summer period, and in the formation of biomass about 35%. According to the quantitative parameters of phytoplankton, green algae did not participate intensively in the formation of the population and biomass, except for the summer period of 2024.*

Keywords: *Chlorophyta, diversity, quantitative parameters.*

INTRODUCERE

Algele *Chlorophyta* sau algele verzi reprezintă veriga de bază a lanțurilor trofice din ecosistemele acvatice, jucând un rol esențial în menținerea echilibrului vieții acvatice și în susținerea diversității biologice. Reprezentanții familiilor *Scenedesmaceae, Oocystaceae, Selenastraceae, Hydrodictyaceae* și *Chlorellaceae*, fiind în majoritate specii cu răspândire cosmopolită, constituie un element central în structura comunităților algale dulcicole din diverse zone ale lumii [7, 10-11].

Începând din anul 1956, cercetările algologice în lacul de acumulare Dubăsari au pus în evidență diversitatea bogată a clorofitelor (211 specii și varietăți) (Șalaru V.). Deși diversitatea taxonomică era ridicată, numărul și biomasa lor creșteau în partea inferioa-

ră a lacului, pe măsură ce viteza curentului scădea. De-a lungul a peste 50 de ani de funcționare, lacul de acumulare Dubăsari a suferit schimbări importante, care s-au reflectat atât în caracteristicile hidrologice și hidro-chimice, cât și în cele hidrobiologice, ca urmare a dezvoltării accelerate a industriei, agriculturii, zootehniei și a altor factori. Structura taxonomică a fitoplanctonului s-a schimbat semnificativ, însă ponderea grupelor de alge în formarea efectivului și biomasei a rămas în mare parte constantă, fiind înregistrate doar variații semnificative ale complexului de specii dominante. În primii ani de funcționare a lacului de acumulare Dubăsari, fitoplanctonul era dominat de clorofite, bacilariofite și cianofite, iar în ultimele două decenii, patru grupuri principale de alge au avut o pondere semnificativă în formarea biomasei fitoplanctonului, dintre care bacilariofitele și dinoflagelatele au contribuit cel mai mult, fiind urmate de euglenofite și clorofite [7].

MATERIAL ȘI METODĂ

Eşantioanele fitoplanctonice au fost colectate sezonier în perioada anilor 2020-2024

în cadrul cercetărilor Laboratorului de Hidrobiologie, și Ecotoxicologie al Institutului de Zoologie, USM. Probele fitoplanctonice au fost colectate din sectoarele superior, mijlociu și inferior ale lacului de acumulare Dubăsari. Prelucrarea probelor a fost efectuată conform metodelor unificate de colectare și prelucrare a probelor hidrobiologice și utilizarea metodelor ISO [1,2]. Speciile de alge planctonice au fost identificate la microscopul MICMED/2 (LOMO), dotat cu cameră digitală, consultând determinatoarele în vigoare şi alte materiale de referinţă [2].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În perioada anilor 2020-2024 componenţa fitoplanctonului lacului de acumulare Dubăsari a fost reprezentată de 95 specii şi varietăţi intraspecifice de alge care se referă la următoarele grupe taxonomice: *Cyanophyta (Cyanobacteria)* -8, *Bacillariophyta*-41, *Chrysophyta* -1, *Dinoflagellata* -5, *Euglenophyta*-11 și *Chlorophyta* -29. Din numărul total de algele *Chlorophyta* atestate în lac, 4 specii se referă la ordinul *Volvocales,* 3 la ordinul *Chlorellales*, 21 la ordin *Sphaeropleales* și o specia la ordin *Desmidiales*. A fost constatată diminuarea diversităţii algelor verzi în comparaţie cu anii precedenţi (1954-2015) (Șalaru V.; Ungureanu L.) [7]. Diversitatea mai înaltă a algelor verzi a fost atestată în sectorul mijlociu și sectorul inferior al lacului de acumulare. Cele mai răspândite specii din grupa *Chlorophyta* au fost: *Eudorina elegans* Ehrenberg, *Monoraphidium contortum* Thur., *Monoraphidium komarkovae* Nyg., *Pediastrum simplex* Meyen, *Scenedesmus quadricauda* Turp., *Scenedesmus falcatus* Chodat., *Scenedesmus intermedius* Chodat., *Tetraedron triangulare* Korsch. (Tab.1.).

Tabelul 1. Lista taxonilor de alge *Chlorophyta* identificați în lacul de acumulare Dubăsari în perioada anilor 2020-2024

Taxon	Sectorul superior	Sectorul mijlociu	Sectorul inferior
Filumul *Chlorophyta*			
Ordinul *Volvocales*			
Carteria pallida Korsch			+
Chlamydomonas globosa J.W.Snow	+		+
Pandorina morum (Mull.)Bory		+	+
Eudorina elegans Ehrenberg	+	+	+
Ordinul *Chlorellales*			
Actinastrum hantzschii Lagerh.		+	+
Dictyosphaerium pulchellum Wood.		+	+
Micractinium bornhemiense (W.Con.)		+	
Ordinul *Sphaeropleales*			
Ankyra ancora(G.M.Smith) Fott			+
Ankistrodesmus fusiformis Corda		+	
Coenococcus planctonicus Korsh.		+	
Coelastrum microporum Nägeli	+	+	
Crucigenia tetrapedia G.S.West	+		
Korshikoviella limnetica (Lemm.)		+	
Monoraphidium contortum Thur.	+	+	+
Monoraphidium minutum (Nag.)	+		
Monoraphidium komarkovae Nyg.	+	+	+
Monoraphidium griffithii (Berk.)			+
Pediastrum boryanum (Turpin)		+	
Pediastrum duplex Meyen		+	+
Pediastrum simplex Meyen		+	+
Scenedesmus acutus Meyen			+
Scenedesmus bicaudatus Dedus.		+	
Scenedesmus ellipticus Corda		+	
Scenedesmus quadricauda Turp	+	+	+
Scenedesmus intermedius Chodat	+	+	+
Scenedesmus falcatus Chodat.	+		+
Schroederia setigera (Schroed.)			+
Tetraedron triangulare Korsch.	+	+	+
Ordinul *Desmidiales*			
Cosmarium undulatum Corda		+	
Total 29	**11**	**20**	**18**

Pe parcursul anilor 2020-2024 în lacul de acumulare Dubăsari efectivul numeric al algelor planctonice a fost format în majoritatea cazurilor din algele *Cyanophyta (Cyanobacteria)*, care constituiau cca 70% din componența fitoplanctonului în perioada de vară-toamnă a anilor 2021, 2023 în sectoarele mijlociu și inferior. Algele *Bacillaryophyta* au înregistrat o pondere de 100% în perioada de primăvară-vară a anilor 2021-2024. Algele *Chlorophyta* au constituit cca 60%, fiind mai diverse în perioada de vară a anului 2022 și a anului 2024 în sectorul mijlociu. Algele din grupa *Euglenophyta* și *Pyrrophyta* au constituit cca 5-30 % din componența fitoplanctonului fiind mai ridicate primăvara și vara anului 2024. Alte grupe de alge s-au dezvoltat în mod nesemnificativ. Speciile care au înregistrat o abundență mai ridicată dintre algele *Chlorophyta* și care au participat semnificativ în formarea efectivului fitoplanctonului au fost: *Scenedesmus quadricauda* Turp., *Monoraphidium contortum* Thur., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Pediastrum boryanum* (Turpin)., *Pandorina morum* (Mull.) Bory.

În formarea biomasei au participat semnificativ algele din grupa *Bacillariophyta*, cu o pondere de cca 35-90% din biomasa totală a fitoplanctonului. Cele mai ridicate valori ale biomasei algelor bacilariofite au fost atestate în perioada de primăvară a anilor 2021, 2023 și 2024. Totodată algele *Pyrrophyta* au constituit cca 80% în formarea biomasei fitoplanctonului în sectoare mijlociu și inferior a lacului în perioada de toamnă a anilor 2021-2024. Începând din sezonul estival, se observă o creștere a participării algelor din *Euglenophyta*, ajungând la valori de 10-40%, cu o pondere mai mare în zona inferioară a lacului în anii 2022, 2024. Ponderea algelor din grupa *Cyanophyta (Cyanobacteria*) în formarea biomasei fitoplanctonului a constituit cca 15 %. Participarea algelor *Chlorophyta* în formarea biomasei nu era semnificativă și a constituit cca 5-35% , fiind mai pronunțată în vara anului 2022 în sectorul mijlociu și în vara anului 2024 în sectoarele mijlociu și inferior.

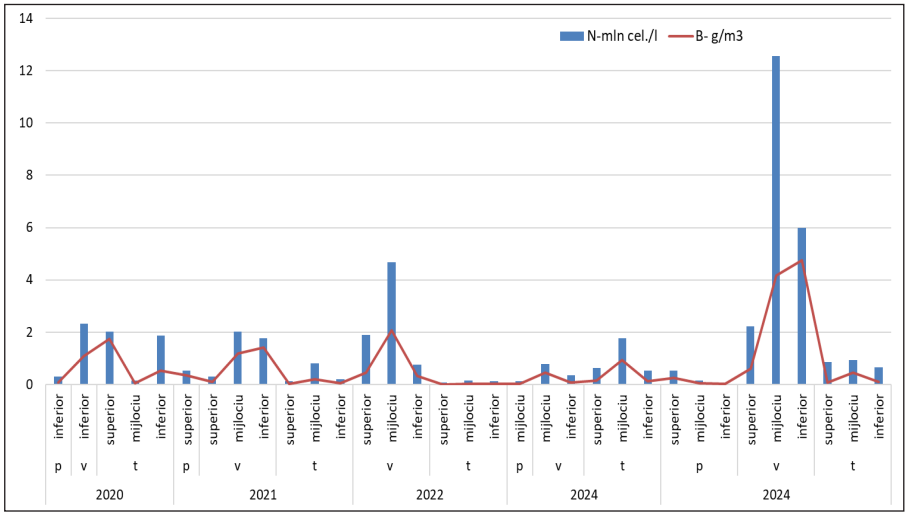


Figura 1. Efectivul numeric (N- mln cel./l) și biomasa (B- g/m^3) algelor Chlorophyta identificate în lacul de acumulare Dubăsari în perioada anilor 2020-2024

Valorile efectivul numeric al algelor din grupa *Chlorophyta* în sectorul superior al lacului de acumulare Dubăsari au variat în limitele 0,06-2,22 mln cel. /l, iar ale biomasei între 0,01-1,73 g/m^3, cu valori mai ridicate ale efectivului în perioada de vara a anilor 2022 și 2024. În sectorul mijlociu valorile efectivului oscilau în limitele 0,13-12,57 mln cel. /l, iar ale biomasei fitoplanctonului între 0,02- 4,17 g/m^3. Valori mai ridicate ale parametrilor cantitativi ai algelor verzi au fost atestate în vara anilor 2022 și 2024, cu ponderea speciilor: *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Monoraphidium contortum* Thur., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., *Pandorina morum* (Mull.) Bory., *Pediastrum simplex* Meyen. (Fig.1.)

Valorile efectivului algelor *Chlorophyta* în sectorul inferior al lacului de acumulare Dubăsari au variat în limitele 0,03-6 mln cel./l, iar ale biomasei între 0,03-4,76 g/m^3. Cele mai ridicate valori ale parametrilor cantitativi ai algelor verzi au fost atestate în vara anului 2024 cu ponderea speciilor: *Pandorina morum* (Mull.) Bory., *Micractinium bornhemiense* (W.Con.), *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Eudorina elegans* Ehrenberg, *Scenedesmus quadricauda* Turp., *Coenococcus planctonicus* Korsh.

CONCLUZII

1. Algele *Chlorophyta* în perioada anilor 2020-2024 a fost reprezentate de 29 specii şi varietăţi intraspecifice care se referă la patru ordine: *Volvocales*-4, *Chlorellales*-3 *Sphaeropleales* -21, *Desmidiales*-1. A fost constatată diminuarea diversității algelor verzi în comparație cu anii precedenţi.

2. Diversitatea mai înaltă a algelor verzi a fost atestată în sectorul mijlociu și sectorul inferior ale lacului de acumulare. Cele mai des întâlnite specii în toate sectoarele de colectare au fost: *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., *Actinastrum hantzschii* Lagerh., *Pediastrum boryanum (*Turpin)., *Pandorina morum* (Mull.) Bory., *Eudorina elegans* Ehrenberg, *Scenedesmus quadricauda* Turp.

3. Valorile efectivului numeric al algelor *Chlorophyta* a variat între 0,06-12,52 mln cel./l, iar ale biomasei între 0,01-4,76 g/m^3. În formarea efectivului fitoplanctonului, algele verzi au constituit cca 60%, fiind mai diverse în perioada de vară, iar în formarea biomasei cca 35%. Conform parametrilor cantitativi ai fitoplanctonului, algele verzi nu au participat intensiv la formarea efectivului și biomasei, cu excepția perioadei de vară a anului 2024.

REFERINȚE:

1. UNGUREANU L., TUMANOVA D. *Sampling of fitoplankton. În Ghid de prelevare a probelor hidrochimice şi hidrobiologice=Hydrochemical and hydrobiological sampling guidance*. Progr. Operaţional Comun România-Ucraina-Republica Moldova 2007-2013; Chişinău 2015; p.12-14
2. UNGUREANU L., TUMANOVA D., UNGUREANU G. *În îndrumar metodic: Monitoringul calităţii apei şi evaluarea stării ecologice a ecosistemelor acva-*

tice. / Acad. de Ştiinţe a Moldovei, Inst.de Zoologie, Univ. Acad. de Ştiinţe a Moldovei Chişinău 2015; p.41-45

3. *Regulament cu privire la cerinţele de calitate a mediului pentru apele de suprafaţă*. Anexa 1. publicat: 22.11.2013 în Monitorul Oficial Nr.262-267, art. Nr.1006, 2013, p. 32-39.
4. UNGUREANU, L., TUMANOVA, D., UNGUREANU, G. Dezvoltarea fitoplanctonului fluviului Nistru și lacului de acumulare Dubăsari în condițiile impactului factorilor naturali și antropici. In: Modificări funcționale ale ecosistemelor acvatice în contextul impactului antropic și al schimbărilor climatice, 6 noiembrie 2020, Chișinău. Chisinau, Republica Moldova: Institutul de Zoologie, 2020, pp. 33-36. ISBN 978-9975-151-97-9.
5. UNGUREANU, L., TODERASH, I., TUMANOVA, D., UNGUREANU, G. Diversity and functioning of phytoplankton in the Dubasari water accumulation reservoir. In: *Actual problems in modern phycology*, 3-5 noiembrie 2014, Chișinău. Chișinău: CEP al Universității de Stat din Moldova, 2014, V, pp. 118-126. ISBN 978-9975-71-577-5.
6. UNGUREANU, Laurenţia, TUMANOVA, Daria, UNGUREANU, Grigore. Statutul trofic şi starea saprobiologică a lacurilor de acumulare Dubăsari şi Cuciurgan conform parametrilor cantitativi ai fitoplanctonului. In: Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii, 2011, nr. 3(315), pp. 93-99. ISBN 1857-064X.
7. UNGURENU L. Diversitatea şi particularităţile funcţionării comunităţilor fitoplanctonice în ecosistemele acvatice ale Republicii Moldova. În: Teza de doctor habilitat în biologie. Chişinău, 2011, 269 p
8. TUMANOVA, Daria, UNGUREANU, Laurenția. Diversitatea fitoplanctonului și calitatea apei lacului de acumulare Dubăsari. În: conf. nat. Consacrată jub. De 90 ani din ziua naşterii Boris Melnic, 12 februarie 2018, Chisinau, CEP USM, 2018 – p.303-306. ISBN 978-9975-71-971-1.
9. TUMANOVA, Daria. Phytoplankton development and production as an indicator of water qality of Dubasari Reservoir. Intern. Conf. 20-21 sept. 2013 Chisinau: Eco-Tiras, 2013. pp. 424-428 ISBN 978-9975-66-353-3.
10. OBUH P. Clorococoficeele (Clasa Chlorococcophyceae, Chlorophyta) interfluviului Nistru-Prut. Autoref. tezei de dr. hab. în biologie. Chişinău, 1995. 54 p.
11. ШАЛАРЬ В. Фитопланктон водохранилищ Молдавии. Кишинев: “Штиинца”, 1971, 204 с.
12. https://www.algaebase.org/ (visited 25.06.2025).

N.B. *Investigațiile sunt realizate în cadrul proiectului pentru tineri cercetători Procesele de eutrofizare a lacului de acumulare Dubăsari în condițiile modificărilor climaterice cu cifrul 23.70105.7007.09T și subprogramului 010701” Evaluarea structurii și funcționării lumii animale și ecosistemelor acvatice sub influența factorilor biotici și abiotici în contextul asigurării securității ecologice și bunăstării populației”.*

PARTICULARITĂȚILE CONDIȚIILOR AGROMETEOROLOGICE ALE PRIMĂVERII ANULUI 2025 ȘI IMPACTUL LOR ASUPRA FAZELOR DE DEZVOLTARE A PRINCIPALELOR CULTURI AGRICOLE

THE PARTICULARS OF THE AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE SPRING OF 2025 AND THEIR IMPACT ON THE DEVELOPMENT PHASES OF THE MAIN AGRICULTURAL CROPS

CZU: 551.583″321″:631(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.69**

Ilie BOIAN
ORCID: 0000-0002-7632-2562
E-mail: ilie.boian@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The high variability of the average daily air temperatures and the amounts of atmospheric precipitation falling in the spring period creates diverse agroclimatic conditions and an increased variability of the state of the main agricultural crops and, respectively, on the productivity of these crops. Analysis of statistical data and specialized information reveals that the agroclimatic conditions in the spring season on the territory of the republic are basically favorable for the growth and development of the main agricultural crops. The agrometeorological conditions in the spring of 2025 were basically satisfactory for soil preparation and sowing of spring crops, as well as for the growth and development of cereal agricultural crops of the first group. The stable transition of the average daily air temperature through the value of +10ºC, which characterizes the beginning of the active vegetation season of agricultural crops, took place during April 13-16, being basically close to the usual terms. The weather conditions for most of April were difficult for the growth and development of autumn crops, fruit trees and vines, as well as for carrying out spring agricultural work. Frosts, reported on some days of the month, caused severe damage to agricultural crops, especially early fruit trees, which were in bloom or had already formed fruit (apricot, peach, cherry, sour cherry, plum, walnut, as well as vegetable seedlings planted in open ground). Knowledge of agroclimatic conditions for the spring season is particularly informative for establishing the terms of cultivation and the date of manifestation of ontogenetic phases and less informative for forecasting the final harvest.*

Keywords: *development phases, climate impact, productive moisture reserves, thermal and water risks, drought.*

INTRODUCERE

Creșterea și dezvoltarea principalelor culturi agricole din Republica Moldova sunt foarte dependente de condițiile agroclimatice ale anotimpului de primăvară, cum ar fi condițiile termice și cele hidrice, etc. În această lucrare ne-am propus să evidențiem particularitățile condițiilor agroclimatice din primăvara anului 2024 pe fundalul foarte divers al acestor condiții, care se pot crea în anotimpul de primăvară, în general, în baza datelor Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHS) rezultate din activitatea monitoringului meteo-climatic. Totodată, noi am încercat să stabilim impactul condițiilor agroclimatice din primăvara anului 2024 asupra manifestării fazelor de dezvoltare a principalelor culturi agricole pe tot teritoriul Republicii Moldova, în baza datelor SHS rezultate din activitatea monitoringului meteo-climatic și a celui agrometeorologic. Un rol aparte asupra dezvoltării culturilor agricole în anotimpul de primăvară îl au și fenomenele meteo-climatice de risc (înghețurile tardive de primăvară, ploile torențiale puternice, însoțite de căderi masive de grindină, vânturile puternice, secetele şi suhoveiurile).

MATERIALE ȘI METODE

Pentru realizarea studiului de față au fost utilizate datele primare privind evoluția condițiilor agroclimatice ale primăverii anului 2025, precum și informațiile specializate despre riscurile meteo-climatice pentru tot teritoriul republicii, colectate din arhivele instituțiilor de stat din Republica Moldova: Serviciul Hidrometeorologic de Stat; Inspectoratul General pentru Situații de Urgență (IGSU). Datele menţionate au fost sistematizate, prelucrate și interpretate grafic, cu utilizarea programelor statistice ▫ Statgraphics, Instat Plus şi QGis, în conformitate cu obiectivele propuse.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Caracterizarea agroclimatică a sezonului de primăvară. Temperatura medie a aerului în anotimpul de primăvară oscilează pe teritoriul republicii între +8ºC şi +10ºC. Pentru toată perioada de observaţii cea mai joasă temperatură a aerului primăvara s-a semnalat în 4 martie 1955 – 26ºC frig (Bravicea), iar cea mai înaltă a constituit +37ºC (Cahul, 17 mai 1969 şi Ştefan-Vodă, 20 mai 1996) [2,5].

Primăvara mai frecvent cad precipitaţii torenţiale, uneori însoţite de descărcări electrice și căderi masive de grindină. Pe parcursul primăverii în medie cad 105-150 mm, sau circa 24% din suma precipitaţiilor anuale. Cea mai aridă a fost primăvara anului 2003, când pe parcursul sezonului respectiv pretutindeni a căzut mai puţin de jumătate din norma precipitaţiilor - 30-60 mm. În primăvara anului 1991 invers, suma precipitaţiilor căzute (200-280 mm) pe o mare parte a teritoriului republicii a depăşit norma de două ori.

Dintre fenomenele meteorologice stihinice care au loc primăvara, cel mai mare pericol pentru culturile agricole îl prezintă îngheţurile intensive şi vânturile puternice (în medie o dată în 3 ani), de asemenea, ploile torenţiale puternice şi grindina (în medie o dată în 3-5 ani).

Îngheţurile tardive în aer, care se semnalează relativ rar, se menţin pe teritoriul republicii în medie până la 6-21 aprilie, la suprafaţa solului – până la 22-30 aprilie. Însă, în unii ani îngheţurile se semnalează şi în luna mai. Cea mai tardivă dată a încetării lor în aer în raioanele de nord şi centrale este 21-24 mai (a.1980), în raioanele de sud - 1-10 mai (a.1990). La suprafaţa solului îngheţurile sunt posibile până la 22-28 mai (a.1977). Îngheţurile tardive de primăvară provoacă vătămarea şi peirea butonilor florali, florilor şi rodului la culturile pomicole, mugurilor desfăcuţi şi inflorescenţelor la viţa de vie şi nuc, plantelor răsărite de porumb, fasole, cartof, mazăre, tutun, răsadului de legume şi a plantelor răsărite ale altor culturi iubitoare de căldură [2,3,4].

Dintre fenomenele meteo-climatice de risc pentru culturile agricole în luna mai pot fi numite secetele şi suhoveiurile, precum și căderile masive de grindină În luna mai suhoveiurile cu diferită intensitate pe teritoriul Republicii Moldova se semnalează în medie pe parcursul a 3-7 zile. Secetele de primăvară se observă în lunile aprilie – mai, când frecvenţa lor constituie 15% ani [4, 5].

Condiţii favorabile pentru începutul semănatului culturilor timpurii de primăvară (orz şi ovăs) apar atunci, când temperatura medie zilnică a aerului (la data semănatului) constituie +5°C şi mai sus, solul are consistenţă plastic moale şi se încălzeşte până la 5-6°C căldură. Termenii de semănat a sfeclei de zahăr sunt determinaţi de încălzirea solului până la 7-8°C căldură şi dispariţia îngheţurilor, care vătămează plantele răsărite. În cele mai calde primăveri semănatul sfeclei de zahăr se efectuează, de obicei, la sfârşitul lunii martie – începutul lui aprilie, iar în cele mai târzii primăveri - la sfârşitul lunii aprilie – începutul lunii mai [2,4].

Plantaţiile multianuale pe teritoriul republicii, de obicei, reiau vegetaţia în perioada 23 martie – 4 aprilie (odată cu trecerea stabilă a temperaturii medii zilnice a aerului prin +5°C). Începând cu a doua jumătate a lunii martie la culturile pomicole, de obicei, are loc umflarea mugurilor florali. Termenii obişnuiţi de înflorire a caisului sunt încadraţi în intervalul 15-23 aprilie. În primăverile timpurii desfacerea mugurilor florali şi înflorirea caisului se începe în intervalul 15-28 martie. Umflarea mugurilor florali la prun, măr, păr se semnalează în prima decadă a lunii aprilie. Umflarea mugurilor la viţa de vie în medie are loc în intervalul 15-22 aprilie, când temperatura medie zilnică stabilă a aerului trece prin +10°C căldură.

Cei mai potriviţi termeni pentru semănatul florii-soarelui după datele multianuale sunt 7-18 aprilie (solul la adâncimea de încorporare a seminţelor se încălzeşte până la +10°C). Termenii cei mai favorabili pentru semănatul porumbului pe o mare parte a teritoriului republicii se semnalează în decada a treia a lunii aprilie [2].

Rezervele de umezeală productivă în stratul arabil al solului în această perioadă, ca regulă, sunt bune şi constituie 25-40 mm. În ultima pentadă a lunii aprilie – începutul lunii mai are loc răsărirea plantelor de floarea-soarelui, răsărirea în masă a sfeclei de zahăr, la grâul de toamnă se semnalează faza de alungire a paiului, începe înflorirea mărului şi părului.

Luna mai pe teritoriul republicii se caracterizează prin începutul creşterii şi dezvoltării active a culturilor iubitoare de căldură. În prima decadă a lunii mai pretutindeni

începe faza înfrățirii orzului de primăvară, la porumb răsărirea în masă a plantelor se semnalează în intervalul 13-17 mai, la cartof - în 12-22 mai. Conform datelor medii multianuale, răsadul culturilor legumicole se plantează în solul deschis în prima jumătate a lunii mai. Înspicarea în masă a grâului de toamnă în medie se observă în intervalul 24 mai-2 iunie [2].

Caracterizarea agrometeorologică a primăverii anului 2025.

În Republica Moldova sezonul de primăvară a anului 2025 a fost foarte variat, atât după regimul termic, cât cel pluviometric. Temperatura medie a aerului pe parcursul sezonului a constituit în teritoriu +10,1…+11,8ºC, fiind cu 0,9-1,6°C mai ridicată față de normă (în primăvara anului 2024 valoarea parametrului menționat a constituit în teritoriu +11,5…+13,3ºC, fiind cu 2,0-3,1°C mai ridicată față de normă). Sezon analog după regimul termic este 2023. Temperatura maximă a aerului pe parcursul sezonului de primăvară 2025 a urcat până la +30ºC (luna mai), iar cea minimă a scăzut până la -6ºC (martie, SM Tiraspol) [1].

Cantitatea de precipitații căzute în decursul sezonului de primăvară 2025 pe teritoriul republicii a fost în general mult peste valorile normei climatice, variind între 100 și 190%. Pe 50% din teritoriu precipitațiile căzute au constituit 150-195 mm (130-150% din normă), izolat suma acestora a atins 210 - 230 mm (160-190% din normă), iar pe alocuri au fost semnalate valori de 100-140 mm (95-120% din normă).

Pe regiuni geografice cantitatea de precipitații a fost repartizată în felul următor: în nordul republicii - 140-225 mm (120-180% din normă); în centrul țării - 115-230 mm (100-190% din normă); în sudul republicii - 100-160 mm (95-140% din normă) [1].

Condițiile meteorologice în această primăvara au fost în fond satisfăcătoare pentru creșterea și dezvoltarea culturilor agricole, precum și pentru pregătirea solului și semănatul culturilor de primăvară.

În luna martie 2025 pe teritoriul țării s-a semnalat vreme foarte caldă. Temperatura medie lunară a aerului a constituit +8,0...+9,5ºC, depășind valorile normei cu 4,5-6,0ºC, ceea ce se atestă în medie o dată la 20-40 ani. În cea mai mare parte a lunii martie, condițiile meteorologice au fost satisfăcătoare pentru creșterea și dezvoltarea culturilor agricole, precum și pentru efectuarea lucrărilor de câmp.

Cantitatea lunară a precipitațiilor căzute pe 75% din teritoriul țării a constituit 100-168 mm (200-315% din normă). În restul teritoriului, preponderent în sudul țării, au căzut 65-95 mm (135-185% din normă). Pe regiuni geografice ale țării, cantitatea de precipitații a fost repartizată astfel: în nord – 110-168 mm (210-315% din normă); în centru – 75-145 mm (150-250% din normă); în sud – 65-90 mm (135-170% din normă), izolat – 100-138 mm (195-290% din normă).

Trecerea stabilă a temperaturii medii zilnice a aerului prin valoarea +5ºC a avut loc în perioada 4-5 martie, fiind cu 10-20 zile mai devreme față de termenii obișnuiți. La începutul lunii martie, culturile de toamnă s-au aflat în stare de repaus vegetativ. Ca urmare a regimului termic ridicat, semnalat în a doua jumătate din prima decadă a lunii martie,

la culturile de toamnă s-a semnalat reluarea procesului vegetativ, fiind cu o săptămână mai devreme față de termenii obișnuiți.

Culturile de toamnă, la momentul reluării vegetației, s-au aflat în fazele - frunza a treia și înfrățirea. În a doua jumătate a lunii martie la culturile de toamnă a continuat înfrățirea. Înălțimea plantelor la sfârșitul lunii pe teritoriul republicii a constituit în medie 15-25 cm. Numărul de plante pe 1 m^2 a constituit în fond 350-450. La plantele înfrățite s-au format în medie 1-3 tulpini.

Pe parcursul lunii martie unele gospodării agricole au efectuat semănatul culturilor timpurii de primăvară. La mazăre către sfârșitul lunii s-a atestat germinarea semințelor și răsărirea.

În prima jumătate a lunii, la culturile pomicole s-a semnalat umflarea și desfacerea mugurilor. Către sfârșitul lunii a continuat desfacerea mugurilor, izolat s-a atestat desfacerea primelor frunze. La cais și soiurile timpurii de piersic s-a semnalat înflorirea. La vița de vie s-a atestat circulația sevei.

La situația din 28 martie, rezervele de umiditate productivă în stratul arabil al solului pe terenurile cu grâu de toamnă din teritoriul țării au constituit în fond: în nord – 25-35 mm (80-110% din normă), izolat – 15-20 mm (50-60% din normă); în centru – 25-30 mm (75-105% din normă); în sud – 25-35 mm (75-115% din normă), izolat– 15-20 mm (50-65% din normă).

Rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 1 m pe terenurile cu culturi multianuale au constituit în fond: în nordul și centrul țării - 130-170 mm (85-115% din normă), izolat– 100-120 mm (65-70% din normă); în sud - 130-150 mm (95 115% din normă), izolat– 100-115 mm (65-70% din normă) [1].

În luna aprilie 2025 regimului termic a fost foarte variat. Temperatura medie lunară a aerului pe teritoriul republicii a constituit +10,5..+11,5ºC, fiind în fond cu 0,5-1,0ºC peste valorile normei. Pe o mare parte a teritoriului republicii, în perioada 6-13 aprilie, au fost înregistrate înghețuri în aer predominant cu intensitatea de -1...-3ºC. Pe 7, 9 și 11 aprilie, în jumătatea de nord a țării, intensitatea înghețurilor în aer a atins -4...-6ºC, fapt ce se atestă în medie o dată la 15-20 ani.

Cantitatea lunară a precipitațiilor căzute pe teritoriul țării a înregistrat valori de 6-28 mm (15-65% din normă). Pe regiuni geografice ale țării, cantitatea de precipitații a fost repartizată în fond, astfel: în nord - 10-28 mm (30-65% din normă); în centru – 6-20 mm (15-50% din normă); în sud – 10-20 mm (25-55% din normă).

În luna aprilie, înghețurile la suprafața solului și la înălțimea de 2 cm de la suprafața lui, aproape pretutindeni au avut intensitatea de -1...-8ºC. În perioada 27-29 aprilie, de asemenea, s-au semnalat înghețuri în aer cu intensitatea de -1...-3ºC, iar la suprafața solului de -1...-6ºC, cea ce în a treia decadă a lunii aprilie se atestă în medie o dată la 20-40 ani.

Condițiile meteorologice în cea mai mare parte a lunii aprilie au fost în fond dificile pentru creșterea și dezvoltarea culturilor de toamnă, pomicole și a viței de vie, precum și pentru efectuarea lucrărilor agricole de primăvară. Înghețurile, semnalate în unele zile ale lunii, au provocat vătămarea puternică a culturilor agricole, îndeosebi a celor

pomicole timpurii, care se aflau în floare sau deja formase rodul (caisul piersicul, cireșul, vișinul, prunul, nucul, precum și răsadul de legume, plantat pe teren deschis).

Trecerea stabilă a temperaturii medii zilnice a aerului peste +10ºC, fenomen care caracterizează începutul perioadei de vegetație activă a culturilor agricole, s-a semnalat în perioada 13-16 aprilie, fiind în fond apropiată de termenii obișnuiți. Pe parcursul lunii aprilie la culturile de toamnă s-au semnalat fazele: înfrățirea și alungirea paiului până la 25-60 cm.

La situația din 28 aprilie, rezervele de umezeală productivă în stratul arabil al solului pe terenurile cu grâu de toamnă pe teritoriul republicii au constituit în fond: în nord – 10-17 mm (35-65% din normă), izolat – 20-25 mm (70-100% din normă); în centru – 10-15 mm (45-60% din normă); în sud – 10-15 mm (45-60% din normă), izolat– 20-25 mm (75-100% din normă).

Rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 1 m pe teritoriul țării au constituit în fond: în nord – 90-125 mm (75-85% din normă), izolat – 70-75 mm (65-70% din normă); în centru – 100-130 mm (75-95% din normă); în sud – 110-130 mm (80-105% din normă), izolat – 45-65 mm (40-55% din normă).

Pe parcursul lunii gospodăriile agricole au efectuat semănatul culturilor de primăvară. În semănăturile cu floarea-soarelui către sfârșitul lunii s-a semnalat răsărirea, izolat a început formarea perechii a doua de frunze adevărate. La porumb s-au semnalat fazele: germinarea semințelor și răsărirea, iar către sfârșitul lunii - izolat formarea frunzei a treia. La mazăre, la începutul lunii s-a semnalat răsărirea, iar către sfârșitul lunii– formarea primelor frunze.

Spre sfârșitul lunii aprilie, la culturile pomicole s-a atestat desfacerea frunzelor și formarea rodului. La măr și păr a continuat înflorirea. La nuc s-a atestat apariția inflorescențelor, izolat– înflorirea. La vița de vie s-a semnalat desfacerea ochiurilor și primelor frunze, izolat – apariția inflorescențelor.

La situația din 28 aprilie, rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 1 m pe terenurile cu culturi multianuale de pe teritoriul republicii au constituit în fond: în nordul și centrul țării – 120-140 mm (85-105% din normă), izolat– 85-100 mm (55-70% din normă); în sud – 105-135 mm (75 115% din normă), izolat – 80-90 mm (55-65% din normă) [1].

În luna mai 2025 pe teritoriul țării s-a semnalat vreme mai rece față de norma climatică. Temperatura medie lunară a aerului a constituit +12,0...+15,0ºC, fiind cu 1,5-3,0ºC sub valorile normei, având loc în medie o dată la 5-15 ani. Pe 2, 10 mai, precum și în perioada 12-14 mai, pe teritoriul țării s-au semnalat înghețuri la suprafața solului și la înălțimea de 2 cm, atingând intensități de -1...-3ºC, ceea ce în această perioada în medie se înregistrează o dată la 5-10 ani.

În luna mai 2025 au căzut cele mai multe precipitații din lunile anotimpului analizat. Suma acestora pe 75% din teritoriul țării a atins valori de 100-168 mm (200-315% din norma climatică lunară), ceea ce în luna mai se atestă în medie o dată la 10-30 ani. În restul teritoriului au căzut 65-95 mm (135-185% din norma lunară). Pe 28 mai, în regiu-

nea postului meteorologic automat Cimișlia, s-a înregistrat un fenomen meteorologic extrem sub formă de ploaie puternică: în decurs de 6 ore au căzut 52 mm de precipitații.

Regimul termic scăzut, semnalat în cea mai mare parte a lunii mai, a încetinit ușor ritmul de creștere și dezvoltare a culturilor agricole. Înghețurile la suprafața solului și la înălțimea de 2 cm de la suprafața lui, precum și ploile foarte puternice, în unele zile însoțite de căderi masive de grindină, au provocat pagube semnificative sectorului agricol al republicii.

Totodată, aceste precipitații abundente, căzute pe parcursul lunii mai 2025, au completat semnificativ rezervele de umiditate productivă în sol, formând premise hotărâtoare pentru o recoltă bogată de cerealele din prima grupă pe tot teritoriul republicii.

La culturile de toamnă, pe parcursul lunii mai s-au semnalat fazele: apariția nodului inferior al tulpinii, înspicarea și înflorirea. Înălţimea plantelor la sfârșitul lunii a constituit în fond 55-85 cm, izolat – 35-45 cm.

La situaţia din 28 mai, rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 0,5 m pe terenurile cu grâu de toamnă au constituit: în nordul țări – 60-130 mm (120-240% din normă); în centru – 70-85 mm (160-200% din normă); în sud – 65-95 mm (120-180% din normă).

Rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 1 m au constituit: în nordul țării – 85-190 mm (80-200% din normă); în centru – 90-160 mm (100-170% din normă); în sud – 85-140 mm (75-150% din normă).

Majoritatea gospodăriilor agricole, la începutul lunii mai, au continuat semănatul porumbului. În mijlocul lunii mai, la porumb s-au semnalat fazele: germinarea semințelor, răsărirea, apariția frunzei a treia; către sfârșitul lunii s-au format frunzele a cincea și a șaptea. Înălțimea plantelor la sfârșitul lunii a constituit în fond 10-25 cm, izolat– 30-40 cm.

La situaţia din 28 mai, rezervele de umezeală productivă în stratul arabil al solului pe terenurile cu porumb au constituit: în nordul țării – 25-50 mm (90-180% din normă); în centru – 25-40 mm (90-160% din normă); în sud – 25-50 mm (80-165% din normă).

La floarea-soarelui, la începutul lunii mai au continuat fazele: răsărirea, în semănăturile mai timpurii – formarea perechii a doua de frunze adevărate. Pe parcursul lunii, la floarea-soarelui a continuat formarea frunzelor. Înălțimea plantelor la sfârșitul lunii a constituit în fond - 10-25 cm.

La situaţia din 28 mai, rezervele de umezeală productivă în stratul arabil al solului pe terenurile cu floarea-soarelui au constituit: în nordul țării – 30-50 mm (150-180% din normă); în centrul și sudul țării – 30-50 mm (140-200% din normă).

La începutul lunii gospodăriile agricole au finalizat semănatul sfeclei de zahăr, pe parcursul lunii pe semănăturile cu sfeclă de zahăr s-au atestat răsărirea și formarea frunzelor.

La mazăre, pe parcursul lunii mai s-a semnalat apariția frunzei a treia, către sfârșitul lunii - formarea inflorescențelor și înflorirea.

La culturile pomicole și de nuc, pe parcursul lunii mai, s-a semnalat formarea și

creșterea rodului. La soiurile timpurii de cireș și vișin către sfârșitul lunii a început coacerea. La vița de vie, la începutul lunii a continuat desfacerea frunzelor, iar în a doua jumătate - s-a semnalat formarea inflorescențelor, spre sfârșitul perioadei izolat a început înflorirea.

La situația din 28 mai, rezervele de umezeală productivă în stratul de sol cu adâncimea de 1 m pe terenurile cu culturi multianuale au constituit: în nordul și centrul țării – 95-180 mm (80-160% din normă); în sud – 115-170 mm (100-150% din normă) [1].

CONCLUZII

1. Variabilitatea mare a temperaturilor medii zilnice a aerului și a cantităților de precipitații atmosferice căzute în perioada de primăvară, crează condiții agroclimatice diverse și o variabilitate sporită a stării principalelor culturi agricole și respectiv asupra productivității acestor culturi.

2. Condițiile agroclimatice din anotimpul de primăvară de pe teritoriul republicii sunt în fond favorabile pentru creșterea și dezvoltarea principalelor culturi agricole.

3. Condițiile meteorologice în cea mai mare parte a lunii aprilie au fost în fond dificile pentru creșterea și dezvoltarea culturilor de toamnă, pomicole și a viței de vie, precum și pentru efectuarea lucrărilor agricole de primăvară.

4. Înghețurile, semnalate în unele zile ale lunii, au provocat vătămarea puternică a culturilor agricole, îndeosebi a celor pomicole timpurii, care se aflau în floare sau deja formase rodul (caisul piersicul, cireșul, vișinul, prunul, nucul, precum și răsadul de legume, plantat pe teren deschis).

REFERINȚE:

1. Arhiva de date meteo-climatice și agrometeorologice a Serviciului Hidrometeorologic de Stat. Chișinău. Database. [on-line] Disponibil: https://meteo.md/.
2. BOIAN, I. Climatologia Republicii Moldova: Suport de curs./ Univ. Acad. de Științe a Moldovei. Chișinău: UnAȘM, 2015 (Tipogr. «Biotehdesign»). - 381 p.
3. BOIAN, I., MÎNDRU, G. Estimarea impactului înghețurilor în sectorul agricol din Republica Moldova. În: Materialele Conferinței științifice cu participare internațională *„Mediul și dezvoltarea durabilă”.* Ed. a V-a jubiliară, 90 de ani ai UST, Chișinău, 30-31 octombrie, 2020, pp. 73-77. ISBN 978-9975-76-315-8.
4. BOIAN, I. Riscuri naturale: Suport de curs/ Univ. de Stat «Dimitrie Cantemir». – Chișinău: S. n., 2018 (Tipogr. «Biotehdesign») 250 p. ISBN 978-9975-108-62-1.
5. MÎNDRU, G., NEDEALCOV, M., BOIAN, I. Estimarea expunerii Republicii Moldova către anumite riscuri naturale în contextul dezvoltării durabile. Univ. de Stat «Dimitrie Cantemir», Inst. de Ecologie și Geografie. – Chișinău: S. n., 2019 (Tipogr. «Biotehdesign») - 299 p. ISBN 978-9975-108-76-8.

N.B. *Lucrarea dată a fost efectuată în cadrul proiectului 010801 Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu.*

UTILIZAREA PLANTELOR MEDICINALE ȘI AROMATICE ÎN AMENAJĂRILE PEISAGERE PUBLICE ȘI GRĂDINILE PRIVATE: PERSPECTIVE ȘI PRACTICI INTEGRATE

THE USE OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS IN PUBLIC LANDSCAPE DESIGNS AND PRIVATE GARDENS: INTEGRATED PERSPECTIVES AND PRACTICES

CZU: 633.8:712 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.70**

Natalia CIUBUC
ORCID: 0000-0002-9007-9300
E-mail: natalia.ciubuc@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Stela CURCUBAT
ORCID: 0000-0002-9921-2139
E-mail: stelacurcubat@gmail.com
Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală, Chișinău, Republica Moldova

Sergiu PANĂ
ORCID: 0000-0002-4941-0639
E-mail: segiupana12@gmail.com
Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Medicinal and aromatic plants represent an essential element in landscape design, having both aesthetic and functional roles, with an impact on public health, biodiversity, and environmental sustainability. This article analyses the ways these plants can be integrated into public and private green spaces, highlighting their therapeutic, ecological, and educational benefits, based on recent research as well as international practices and those applied in the Republic of Moldova.*

Keywords: *medicinal plants; landscape design.*

INTRODUCERE

În contextul creșterii interesului pentru soluții sustenabile și pentru promovarea sănătății prin natură, plantele medicinale și aromatice devin componente tot mai valoroase în amenajările peisajere. Grădinile publice și private pot valorifica aceste specii nu doar pentru frumusețea lor, ci și pentru proprietățile lor terapeutice și rolul ecologic, contribuind la conservarea biodiversității și la educarea comunității. Studii recente demonstrează că includerea plantelor aromatice în peisaje urbane poate reduce temperatura cu 10-15% și îmbunătăți confortul termic cu până la 26% [1].

Utilizarea plantelor medicinale și aromate în amenajarea peisajului are rădăcini adânci în istoria civilizației umane, fiind influențată de necesități practice, valori culturale, simbolice și estetice [2,3]. Încă din Antichitate, aceste plante au fost cultivate nu doar pentru beneficiile lor terapeutice, ci și pentru parfum, frumusețe și utilizări ritualice. De exemplu, în Egiptul Antic, plante precum busuiocul (*Ocimum basilicum*), menta (*Mentha spicata*) și coriandrul (*Coriandrum sativum*) erau cultivate în grădinile templelor și ale palatelor regale, inclusiv în scopul utilizării lor în ceremoniile religioase în ritualurile sacre. Grecii au continuat această tradiție, cultivând salvie (*Salvia officinalis*) pentru ritualuri purificatoare, mentă pentru uz medicinal și dafin (*Laurus nobilis*) în curți și temple, solitar sau tunse în garduri verzi, acesta fiind un simbol al victoriei, înțelepciunii și clarității minții. Romanii au integrat plantele medicinale și aromate în mod sofisticat în peristiluri și grădini interioare, unde rozmarinul (*Rosmarinus officinalis*), cimbrul (*Thymus vulgaris*) și lavanda (*Lavandula angustifolia*) erau utilizate atât pentru parfumul său deosebit, condimentarea preparatelor culinare, utilizarea în băile publice, atât și pentru textura, aroma și culoarea lor.

În Evul Mediu, plantele medicinale și aromatice au fost cultivate predominant în grădinile monastice, care au devenit adevărate centre de cultivare și cercetare a plantelor cu proprietăți vindecătoare. Aceste grădini erau organizate riguros, în parcele ordonate, fiecare specie având un loc bine determinat. Printre plantele frecvent cultivate se numărau isopul (*Hyssopus officinalis*) - folosit pentru purificarea aerului și în ritualuri religioase, pătrunjelul (*Petroselinum crispum*), gălbenelele (*Calendula officinalis*), melisa (*Melissa officinalis*), considerată calmant nervos, menta (*Mentha spp*.), cu rol în tratarea problemelor digestive și igienizare, și salvia (*Salvia officinalis*), denumită sugestiv „Salvia salvatrix" datorită proprietăților sale medicinale. Aceste plante contribuiau și la ambientul vizual al spațiilor monastice, în care ordinea geometrică a grădinilor reflecta ordinea spirituală.

În perioada Renașterii, utilizarea plantelor aromatice a cunoscut o nouă dimensiune estetică. Grădinile italiene renascentiste, precum cele de la Villa d'Este din Tivoli, includeau partere de rozmarin, lavandă, salvie și cimbru, accentuând ordinea, proporția și armonia compoziției peisagere. În Franța barocă, grădinile de la Versailles, Villandri, pe lângă plantele strict ornamentale, includeau și partere utilitare în care de rând cu cultivarea legumelor de sezon erau lavandă și dafin, integrate estetic în schemele geometrice complexe caracteristice acelei perioade.

În secolele XVIII-XIX, odată cu dezvoltarea botanicii ca știință și expansiunea colonială, în grădinile europene au fost introduse numeroase specii exotice, precum vanilia, piperul negru ș.a. În renumita Chelsea Physic Garden din Londra erau cultivate inclusiv așa plante medicinale precum *Echinacea, Valeriana officinalis* și *Angelica archangelica*, inclusiv în scopuri de cercetare și educație. În aceeași perioadă, în grădinile victoriene, specii precum vinărița (*Galium odoratum*), apreciată pentru mirosul său de vanilie, pelinul (*Artemisia absinthium*), degetarul purpuriu (*Digitalis purpurea*), diverse specii de salvie sunt tot mai des utilizate și ca plante ornamentale în amenajările peisajere.

REZULTATE ŞI DISCUŢII

În perioada modernă și contemporană, plantele medicinale și aromate sunt utilizate atât în grădini private, cât și în spații publice pentru a crea diversitate vizuală și senzorială, având funcții ecologice și valori terapeutice [4-7]. În designul peisajer contemporan, specii precum lavanda (*Lavandula angustifolia*), rozmarinul (*Rosmarinus officinalis*), cimbrișorul (*Thymus sp.*) și menta (*Mentha x piperita*) sunt folosite în grădini senzoriale și terapeutice, contribuind la bunăstarea psihică a utilizatorilor. Totodată, în grădinile de permacultură și grădinile „urbane", plante precum busuiocul (*Ocimum basilicum*), oregano (*Origanum vulgare*), corovatica (*Salvia nemorosa*), echinacea (*Echinacea purpurea*) sau monarda (*Monarda fistulosa*) sunt valorificate nu doar pentru uzul culinar și medicinal, ci și pentru capacitatea lor de a atrage insecte polenizatoare și de a susține biodiversitatea sau pentru calitățile lor ornamentale deosebite, inclusiv datorate rezistenței sporite la secetă și poluare. Utilizarea în amenajările urbane a speciilor cu aspect „sălbatic" are acțiuni benefice asupra stărilor de anxietate și în general a stării psihologice a locuitorilor din megapolisuri, în ultimele decenii atestându-se chiar o modă pentru amenajări cu plante preluate din mediul natural, multe din care au și calități curative.

Astfel, utilizarea plantelor medicinale și aromatice în peisagistică a evoluat de la funcții strict utilitare și ritualice la funcții estetice, educative, terapeutice și ecologice, reprezentând un exemplu complex al interacțiunii dintre om, plante și spațiul construit.

Modalitățile de încadrare a plantelor medicinale și aromate în amenajările peisajere publice și grădinile private variază în funcție de tipul spațiului, de stilistica și conceptul peisajer, și de obiectivele funcționale urmărite.

Astfel, în amenajările peisajere publice acestea pot fi utilizate în:

a) Partere tematice și grădini senzoriale. Grădinile senzoriale din spațiile publice sunt amenajate pentru a stimula simțurile vizitatorilor, în special mirosul, văzul și simțul tactil, contribuind la relaxare și terapie prin natură [7,8]. Un exemplu elocvent este „Poison Garden,, din cadrul Alnwick Garden (Marea Britanie), care include o colecție de plante medicinale și toxice, și sectoare dedicate salviei, lavandei, rozmarinului și cimbrului. În Jardin des Plantes (Paris, Franța) parterele tematice includ plante aromatice și medicinale ordonate sistematic pentru studiu și educație publică. Un bun exemplu sunt și renumitele Knot-garden din Marea britanie, care încorporează plante medicinale și aromate în partere clasice din cimișir tuns.

b) *Grădinile terapeutice* pot fi integrate în amenajările peisajere de pe teritoriul spitalelor, centrelor de recuperare și a parcurilor urbane în special pentru efectele lor benefice asupra sănătății mintale și fizice [9]. Exemple: Legacy Emanuel Medical Center Healing Garden (Portland, SUA), unde lavanda, menta, rozmarinul și cimbrul sunt utilizate pentru proprietățile lor calmante și revitalizante, iar grădina St. Joseph Mercy Hospital (Michigan, SUA) include rute senzoriale cu plante aromatice pentru stimularea cognitivă a pacienților cu afecțiuni neurologice.

c) *Borduri decorative și delimitări vegetale*. Plantele aromatice sunt utilizate ca borduri joase la margini de alei sau peluze, datorită structurii compacte, parfumului in-

tens și întreținerii reduse. Astfel, monarda, cicoarea, irisul, degetarul, rozmarinul sau cimbrul sunt plantate pe marginea căilor de circulație în Royal Botanic Garden Edinburgh (Scoția), Kew Gardens (Londra, Marea Britanie) ș.a.

d) Pajiștile florale și benzile aromatice sunt tot mai des utilizate în designul urban contemporan. Plantele medicinale și aromatice sunt utilizate pentru a crea condiții favorabile polenizatorilor și a menține biodiversitatea urbană. Un exemplu frumos în acest sens sunt: High Line Park (New York, SUA) și Gardens by the Bay (Singapore), unde numeroase plante aromate sunt incluse în grădini cu aspect de pajiști seminaturale, încadrate printre metal și beton.

e) Grădini tematice specializate precum „grădina farmaceutică" în care sunt cultivate specii cu valoare terapeutică, inclusiv plante rare și amenințate, cu scopul conservării și cercetării; „grădina de plante aromatice și condimentare", care combină utilizarea culinară cu valoarea olfactivă și decorativă; „grădini melifere și pentru polenizatori", ce sprijină ecosistemele locale prin atragerea insectelor benefice, și „grădini cu tematică istorică sau culturală", care includ plante medicinale tradiționale, oferind o dimensiune educațională și culturală, de exemplu grădinile biblice.

Instituțiile specializate, precum Grădina Botanică Națională „Al. Ciubotaru", desfășoară activități de multiplicare ex-situ și reintroducere a speciilor rare sau amenințate cu dispariția, asigurând astfel conservarea patrimoniului genetic și valorificarea durabilă a acestora în amenajări peisagere. Actualmente Colecției de Plante Medicinale din Grădina Botanică Națională (Institut) „Al. Ciubotaru"însumează 367 taxoni, încadrați în 3 filumuri, 5 clase, 66 familii şi 184 genuri. În perioada 2013-2022 colecția a fost completată cu 82 taxoni obținuți prin schimbul internațional de semințe (Index Seminum), precum și din flora spontană locală [10].

d) Grădini comunitare și educative. În orașe, grădinile comunitare includ parcele dedicate plantelor comestibile, medicinale și aromate, având rol educativ și social. De exemplu Incredible Edible Todmorden (Marea Britanie) este un proiect urban de transformare a spațiilor verzi în grădini comestibile cu plante aromatice, medicinale și legume.

Și grădinile private oferă multiple oportunități de încadrare a plantelor medicinale și aromate în amenajarea spațiului locuit.

a) Grădini de bucătărie (potager). În grădinile private, plantele aromatice sunt cultivate alături de legume și flori comestibile în paturi ordonate, specifice grădinilor franceze potager după exemplul Château de Villandry (Franța), cu renumitele sale grădini potager ornamentale, unde gălbenelele, cârciumăresele, cimbrul, lavanda și oregano sunt plantate de rând cu roșiile, varza, prazul ș.a.

b) Cultivarea în containere și jardiniere este o modalitate recomandată în special pentru decorarea balcoanelor, teraselor și micilor grădini urbane. Plante precum busuiocul, menta, oregano, salvia, rozmarinul și chiar fragii sunt cultivate în jardiniere sau containere ceramice sau din lemn, amplasate pe terasă sau pe suporturi decorative.

c) Borduri perene și straturi mixte. Bordurile perene permit asocierea unui asortiment destul de larg de plante medicinale și aromate cu plante decorative, utilizate pentru diversificarea asortimentului, creare de contrast de texturi și culori, atragerea păsărilor și fluturilor și nu în ultimul rând pentru scopuri utilitare.

d) Rocării și grădini mediteraneene. Plantele aromatice mediteraneene, precum rozmarinul, lavanda, pelinul și cimbrul, sunt ideale în rocării și pe soluri nisipoase sau pietroase, fiind integrate adesea în grădini cu inspirație provensală [11].

Pentru o integrare eficientă, este necesară o planificare riguroasă care să includă selecția speciilor adaptate condițiilor locale, metode adecvate de cultivare, recoltare și depozitare corectă, dar și elaborarea unor scheme de plantare care să integreze plantele medicinale și aromate într-un mod cât mai armonios.

CONCLUZII

1.Integrarea plantelor medicinale și aromate în amenajările peisajere publice și în grădinile private îmbină esteticul cu funcționalul și terapeuticul, creând spații atractive, sănătoase și sustenabile.

2. De la marile grădini botanice și parcuri urbane până la grădinile senzoriale private, aceste plante contribuie la biodiversitate, sănătate și bunăstarea comunităților, reflectând continuitatea valorilor culturale și ecologice de-a lungul istoriei designului peisajer.

3. Plantele medicinale și aromatice reprezintă o resursă valoroasă în amenajările peisagere publice și private, oferind multiple avantaje estetice, terapeutice, ecologice și educaționale. Integrarea lor trebuie să fie susținută de cercetare științifică și practici tehnologice adecvate pentru a asigura durabilitatea și eficiența acestor amenajări. Astfel, se pot crea spații verzi multifuncționale, care să răspundă nevoilor contemporane de sănătate, conservare și educație ambientală.

REFERINȚE:

1. MAKNEA, K. I., TZORTZI, J. N., ASĂNICĂ, A. C. *Improvement of the urban microclimate with aromatic and medicinal plants.* Romanian Journal of Horticulture, 2024, DOI: 10.51258/RJH.2024.06.
2. IACOBESCU, O.-J. Utilizarea ornamentala a plantelor medicinale, aromatice și condimentare în grădina familială, USAMV Timișoara, 2005, 174 p.
3. ILIESCU, A.-F., Istoria artei grădinilor, Ed. Ceres, Bucureşti, 2014, 464p. CER978-973-40-1047-9.
4. ANDREUCCI, M.B.; RUSSO, A.; OLSZEWSKA-GUIZZO, A. Designing Urban Green Blue Infrastructure for Mental Health and Elderly Wellbeing. Sustainability 2019, 11, 6425.
5. ORLÓCI, L.; FEKETE, A. Ornamental Plants and Urban Gardening. Plants 2023, 12p.

6. PIMENTEL, H. C. B., DE LIMA, A. P. M., LATAWIEC, A. E. *Recommendations for Implementing Therapeutic Gardens to Enhance Human Well-Being. Sustainability*, 2024, 16(21) p.
7. VUKOVIC, N.; MINGALEVA, Z. Towards a Sustainable City with a Sensory Garden in the Context of Urban Well-Being. Sustainability 2023, 15p.
8. KRZEPTOWSKA-MOSZKOWICZ, I., MOSZKOWICZ, Ł., PORADA, K. Urban Sensory Gardens with Aromatic Herbs in the Light of Climate Change: Therapeutic Potential and Memory-Dependent Smell Impact on Human Well-being. Land 2022, 11p.
9. TELEUȚĂ, A., COLȚUN, M., MIHĂILESCU, C., CIOCÂRLAN, N. Universul plantelor. Plante medicinale. Chișinău: Litera International, 2008, 336p.
10. CIOCARLAN, N. Diversitatea taxonomică a colecției de plante medicinale din Grădina Botanică Națională (Institut) "Al. Ciubotaru" In: Studia Universitatis Moldaviae (Seria Ştiinţe Reale şi ale Naturii). 2023, nr. 1(171), pp. 29-36. ISSN 1814-3237.
11. MAKNEA, K. I., NERANTZIA TZORTZI, J., ASĂNICĂ, A. *The contribution of co-cultivation of Mediterranean aromatic and medicinal plants to sustainable urban development. Acta Horticulturae* 1358, 2023, p.123–130.

PATRIMONIUL CULTURAL MATERIAL DIN BAZINUL HIDROGRAFIC AL RÂULUI BOTNA

TANGIBLE CULTURAL HERITAGE IN THE BOTNA RIVER BASIN

CZU: 903:574.5:902.2(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.71**

Irina COCIU
ORCID: 0009-0006-3141-7687
E-mail: irina.cociu@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vitalie SOCHIRCĂ
ORCID: 0000-0003-3924-2253
E-mail: vitalie.sochirca@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Adrian CIBOTARI
ORCID: 0009-0001-7298-629X
E-mail: adrian.cibotari@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The Botna River basin represents a relatively small area, but with remarkable geographical and historical diversity, with a rich heritage, but insufficiently researched, known and valued. The purpose of the research is to inventory and evaluate the tangible cultural heritage in the Botna River basin from the perspective of its promotion and valorisation. The research used the official documents and is based on the official database, with various methods being applied, especially documentary analysis, direct field observation, aerial captures taken with the DJI Mini 3 drone, the cartographic method, by applying the QGIS v.3.32 Geographic Information System. The tangible cultural heritage of the Botna River Basin comprises 157 sites, over 1/3 of which are archaeological sites. Some of the identified cultural values have considerable potential to be nominated for inclusion in the UNESCO World Heritage List, especially in the cross-border context of Trajan's Wall, which also crosses other countries in the region (the similar network of sites within Romania's borders was already included on the UNESCO list in 2024 - with the name "Frontiers of the Roman Empire – Dacia", dossier: 1718).*

Keywords: *Botna river basin, cultural monument, tangible cultural heritage, Upper Trajan's Wall.*

INTRODUCERE

Bazinul hidrografic al râului Botna reprezintă un spațiu relativ restrâns, dar cu o

remarcabilă diversitate geografică și istorică, fiind totodată insuficient cercetat din perspectiva integrată a patrimoniului. În contextul actual al dezvoltării durabile, promovarea identității locale devine o prioritate națională, iar patrimoniul cultural se conturează ca un veritabil pilon al memoriei colective, jucând un rol esențial în conservarea și protejarea valorilor cu semnificație deosebită. Prin urmare, scopul cercetării – inventarierea și evaluarea patrimoniului cultural material din bazinul râului Botna – urmărește să completeze studiile existente, contribuind la promovarea și valorificarea patrimoniului cultural material din arealul de studiu.

MATERIALE ȘI METODE

În cadrul cercetării a fost utilizată baza de documente și date oficiale privind patrimoniul cultural material. Un aport substanțial revine documentelor oficiale elaborate sub egida UNESCO, precum Convenția pentru protecția patrimoniului mondial, cultural și natural [1] și Ghidul operațional UNESCO pentru implementarea Convenției [2], precum și actele legislative naționale. În acest sens, au fost consultate: Registrul monumentelor Republicii Moldova ocrotite de stat [3], aprobat în 1993 [4]; Registrul național al monumentelor de for public, aprobat prin Legea nr. 148/2018 [5], precum și volumul *Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Apele de suprafață* [6], care oferă date valoroase referitoare la particularitățile fizico-geografice ale arealului de studiu.

Metodele de cercetare aplicate: analiza documentară; observația directă în teren (cu punct de referință sectorul Valului lui Traian de Sus, în perimetrul localităților Chircăiești – Căușeni, monumentele culturale ș.a.), utilizarea metodei fotointerpretării (inclusiv capturi aeriene realizate cu drona *DJI Mini 3*), precum și metoda cartografică, prin aplicarea sistemului informațional geografic *QGIS v.3.32.* Unul dintre principalele rezultate ale acestui demers este delimitarea bazinului hidrografic al râului Botna, pe baza modelului digital al reliefului (*DEM*) al Republicii Moldova. Prin integrarea imaginilor satelitare din *Google Maps* în aplicația GIS, folosind serviciile *Web Map Services (WMS)*, a fost vectorizată rețeaua așezărilor umane, iar ca instrument complementar, a fost utilizată și aplicația *Google Earth Pro*.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Din punct de vedere etimologic, cuvântul „patrimoniu” provine din latinescul *patrimonium*, care desemna moștenirea transmisă de tată fiului, având legătură cu transmiterea bunurilor materiale sau simbolice de la o generație la alta. În perioada contemporană conceptul a cunoscut o extindere semnificativă, un moment de cotitură fiind adoptarea Convenției privind protecția patrimoniului mondial cultural și natural (eng. *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*) la Conferința Generală a UNESCO de la Paris, în noiembrie 1972. Principiul de baza al acesteia este redat în Art. 7 [1], conform căruia protecția internațională a patrimoniului mondial cultural și natural reprezintă instituirea unui sistem de cooperare și asistență internațională,

conceput pentru a sprijini Statele Părți la Convenție în eforturile lor de conservare și identificare a acestui patrimoniu. Până în prezent, Convenția a fost ratificată de 196 de state [7]. Fiecare stat-parte are dreptul, după posibilitate, să întocmească liste indicative cu bunurile culturale și naturale, aflate pe teritoriul lor, considerate ca având o valoare mondială [1, Art. 11, pct. 1]. Valorile nominalizate sunt evaluate de către Comitetul Patrimoniului Mondial [1, Art. 8], iar dacă acestea corespund tuturor criteriilor indicate în Ghidul Operațional pentru implementarea Convenției, ele sunt incluse în Lista Patrimoniului Mondial UNESCO. La moment această listă cuprinde 1223 de situri [8].

În Art. 1 al Convenției [1] este specificat că obiecte de patrimoniu cultural sunt considerate: monumentele; ansamblurile de clădiri/construcții; siturile realizate de om sau combinații ale naturii și societății. Mai mult ca atât, din anul 1992 UNESCO introduce termenul de peisaj sau landșaft cultural [2]. Republica Moldova a aderat la Convenția menționată în anul 2002 și, până în prezent, are un singur sit înscris în Lista patrimoniului mondial cultural material – Arcul Geodezic Struve, cu punctul de observație de pe teritoriul satului Rudi, raionul Soroca.

Prezentul studiu cuprinde bazinul hidrografic al râului Botna, amplasat în sectorul central al Republicii Moldova, ocupând o poziție intermediară între zonele colinare ale Podișului Central-Moldovenesc (numit și Podișul Codrilor) și câmpiile joase din sud-estul țării (fig. 1). Acesta face parte integrantă din bazinul hidrografic al fluviului Nistru.

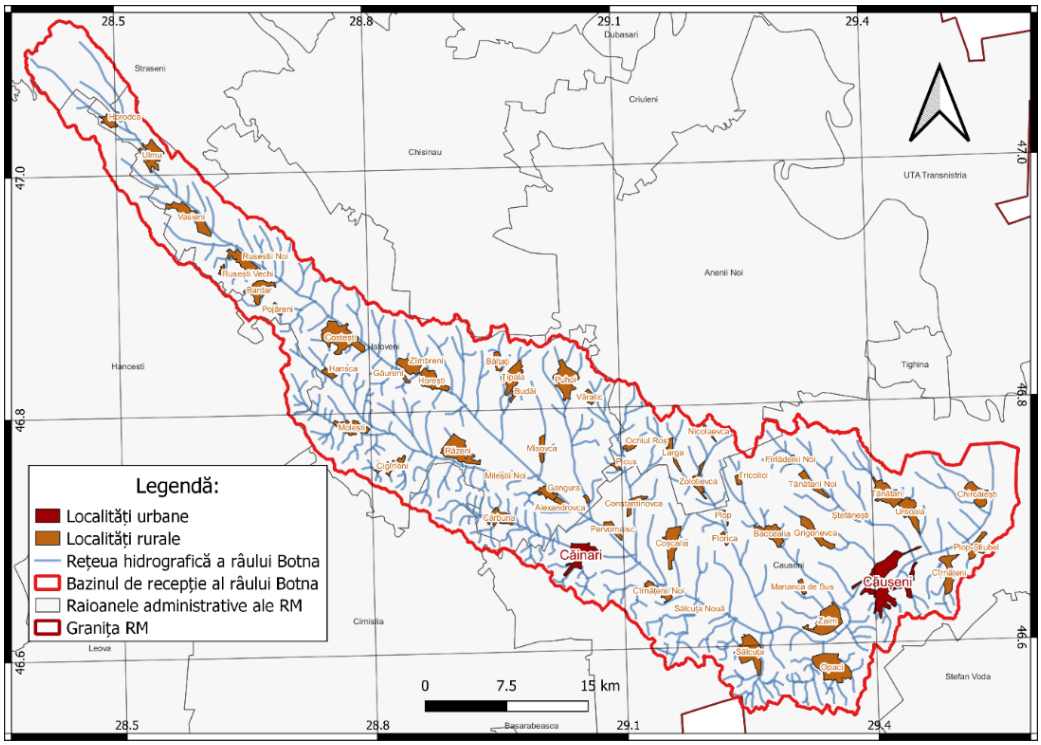


Figura 1. Limitele și rețeaua de așezări ale bazinului hidrografic al râului Botna

Suprafața bazinului hidrografic (determinată în baza modelului numeric al terenului) este egală cu 1509,63 km^2, iar rețeaua hidrografică însumează o lungime cumulată de aproximativ 841 km [6, p. 148]. Râul principal Botna are o lungime de 129 km. Altitudinea medie este de 123 m. Rețeaua de așezări umane din limitele bazinului hidrografic aparține preponderent raioanelor Căușeni, Ialoveni și Anenii Noi, iar câteva localități, de asemenea, raioanelor Strășeni, Hâncești și Cimișlia, și cuprinde 66 de localități, inclusiv 64 așezări rurale și 2 așezări urbane (Căușeni și Căinari), primul fiind centrul raional.

Pentru o identificarea valorilor de patrimoniu cultural din cadrul bazinului râului Botna, a fost elaborată o listă a localităților care se încadrează în limita geografică a zonei de studiu. Pe baza acestei delimitări, monumentele au fost selectate manual, prin consultarea surselor oficiale. Astfel, au fost identificate monumentele de for public, consemnate în Registrul național al monumentelor de for public [5]. Potrivit acesteia în bazinul râului Botna sunt acceptate ca monumente de for public 3 obiective de artă plastică, precum statuia lui Alexei Mateevici din or. Căinari (rn. Căușeni), datată din 1992, statuia lui Alexei Mateevici din s. Zaim (rn. Căușeni) din 1990 și o troiță din s. Ulmu (rn. Ialoveni). Ulterior a fost procesată lista de monumente culturale din Registrul monumentelor Republicii Moldova ocrotite de stat. Un obstacol întâmpinat în acest proces a fost legat de structura administrativ-teritorială învechită utilizată în registru: spre exemplu, este menționat raionul Căinari, care nu mai există în actuala organizare administrativ-teritorială a țării. În rezultat, s-a constatat că în bazinul râului Botna sunt 157 de obiective culturale ocrotite de stat, clasificate după localitate, cronologie, categorie, tip și gen.

Repartiția pe localități. Numărul obiectivelor pentru fiecare din cele 39 de localități în ordinea alfabetică este prezentat în tab. 1. Cele mai bogate localități în acest patrimoniu sunt Horești și Ulmu, fiecare cu câte 12 obiective înregistrate, urmate de Hansca (11), Bardar (10) și Molești (9), toate cu un patrimoniu divers care cuprinde necropole, tumuli, biserici și monumente comemorative. Satul Costești are 8 obiective, iar Căușeni, Horodca, Ruseștii Noi și Văsieni – fiecare cu câte 7, urmate de alte localități.

Tabelul 1. Numărul obiectivelor de patrimoniu cultural material după localități, procesat după [3]

Nr.	Localitate	Nr. obiectivelor	Nr.	Localitate	Nr. obiectivelor	Nr.	Localitate	Nr. obiectivelor
1.	Bardar	10	**14.**	Căinari	6	**27.**	Zolotievca	1
2.	Costești	8	**15.**	Alexandrovca	1	**28.**	Căușeni	7
3.	Hansca	11	**16.**	Cărbuna	2	**29.**	Baccealia	4
4.	Horești	12	**17.**	Cigârleni	2	**30.**	Chircăiești	4
5.	Horodca	7	**18.**	Cârnățenii Noi	2	**31.**	Cârnățeni	3
6.	Molești	9	**19.**	Coșcalia	2	**32.**	Grigorievca	2

7.	Pojăreni	2	**20.**	Gangura	2	**33.**	Marianca de Sus	2
8.	Puhoi	2	**21.**	Homuteano-vca	1	**34.**	Opaci	2
9.	Ruseștii Noi	7	**22.**	Nicolaevca	1	**35.**	Plopi Știubei	1
10.	Țipala	3	**23.**	Pervomaisc	1	**36.**	Sălcuța	3
11.	Ulmu	12	**24.**	Răzeni	2	**37.**	Tănătari	2
12.	Văsieni	7	**25.**	Sălcuța Nouă	1	**38.**	Ursoaia	3
13.	Zâmbreni	3	**26.**	Văratic	1	**39.**	Zaim	5

Clasificarea după categorii. Obiectivele sunt clasificate în 2 categorii – de importanță națională și de valoare locală. Se constată o dominare clară a monumentelor de importanță națională, care însumează 142 de obiective (aproximativ 90% din total). Acest fapt indică recunoașterea oficială, la nivel național, a valorii istorice, arheologice sau arhitecturale a majorității siturilor și construcțiilor din teritoriul dat. Pe de altă parte, doar 15 obiective sunt clasificate ca fiind de importanță locală.

Clasificarea după gen. Din cele patru genuri, cel mai numeros este cel al monumentelor arheologice (așezări, necropole și tumuli), cu un total de 79 de obiective, ceea ce confirmă prezența unei ocupații umane vechi și continue în această regiune. Al doilea gen ca frecvență este cel a monumentelor istorice, cu 43 de obiective. Majoritatea sunt reprezentate de ansambluri memoriale dedicate eroilor căzuți în războaiele mondiale, troițe sau morminte individuale comemorative. Monumentele arhitecturale (33 la număr) sunt în special lăcașe de cult – biserici de lemn și de piatră – construite în perioada secolelor XVIII–XX, dar și case memoriale sau gospodării tradiționale. În schimb, monumentele artistice sunt cu doar 2 obiective identificate.

Clasificare după tip. Tipul cel mai reprezentativ sunt așezările arheologice cu 56 de situri identificate. Acestea acoperă o perioadă largă, de la epoca eneoliticului (Horodca, Hansca, Bardar, Ulmu, Găureni și Văsieni) până la Evul Mediu (așezarea orășenească Costești-I). Monumentele funerare constituie a doua categorie ca frecvență în cadrul patrimoniului identificat în bazinul râului Botna, cu un total de 37 de obiective. Acestea includ morminte individuale sau comune ale ostașilor căzuți în timpul războaielor mondiale (Plopi-Știubei; Chircăiești), troițe memoriale și plăci comemorative. Bisericile sunt elemente centrale ale patrimoniului religios, cu 29 de edificii identificate, mai valoroasă fiind biserica „Adormirea Maicii Domnului” din orașul Căușeni. Necropolele, în număr de cinci, sunt concentrate în localitatea Hansca și sunt asociate cu așezări și tumuli din apropiere. Tumulii, în număr de 10, sunt răspândiți în partea sud-estică a bazinului.



Figura 2. Porțiunea Valului lui Traian de Sus în sectorul Chircăiești – Căușeni, trasată în baza vizitei pe teren, a utilizării dronei și a imaginii satelitare Google Earth

În afară de categoriile principale, au fost înregistrate și 20 de obiective cu statut aparte: vestigii ale tradiției vinului, case memoriale, cetăți, stațiuni medievale și clădiri istorice din secolele XIX–XX, precum și 4 segmente ale Valului lui Traian de Sus (de Nord), prin localitățile Chircăiești, Ursoaia, Marianca de Sus, Sălcuța Nouă [3; 9]. Segmentele date ale Valului lui Traian de Sus sunt mai puțin cercetate. Astfel, în scopul documentării suplimentare la data de 24 mai 2025 a fost realizată o deplasare în teren. Punctul inițial de referință a fost reprezentat de porțiunea Valului lui Traian de Sus din perimetrul satului Chircăiești, ale cărei coordonate exacte au fost oferite de Agenția Națională Arheologică. Pornind de la punctul inițial identificat pe teren, inclusiv prin utilizarea dronei, pentru completarea informațiilor a fost analizată imaginea satelitară a regiunii adiacente. Ulterior a fost conturată o posibilă traiectorie a valului pe sectorul Chircăiești – Căușeni, cu precizarea că linia trasată în cadrul acestei vizualizări are un caracter orientativ (fig. 2).

Pentru validarea în teren a observațiilor preliminare, au fost selectate două puncte de oprire corespunzătoare traseului presupus al valului (fig. 2). Pentru obținerea unei perspective aeriene a zonei cercetate, în fiecare punct a fost ridicată drona, iar ulterior imaginile obținute au fost prelucrate.

Punctul 1 (46°42’30.48” N; 29°30’54.39” E) este situat spre sud-vest de satul Chircăiești. Traseul său se suprapune peste un drum de sat secundar, iar configurația valului este recognoscibilă sub forma unei denivelări line, aplatizate, acoperite de vegetație ierboasă (fig. 3).

Punctul 2 (46°42’5.20” N; 29°30’23.55” E) este localizat spre sud-vest față de primul punct, la o distanță de aproximativ 1,6 km de satul Chircăiești și la circa 1,15 km de valea râului Botna. Valul lui Traian de Sus traversează perpendicular terenul, însă în teren urmele acestuia sunt aproape complet aplatizate. Segmentul se află pe terenuri agricole private, unde lucrările mecanizate repetate au dus la nivelarea progresivă.

Prezența Valului lui Traian de Sus în zona de studiu este confirmată, însă el rămâne slab cercetat și, în consecință, insuficient conservat. Deși în teren urmele sunt fragmentare și în mare parte aplatizate, valoarea culturală și arheologică a acestui element de patrimoniu este incontestabilă. În acest context, el ar trebui să fie tratat cu aceeași importanță ca și segmentele similare din România, deja incluse în lista patrimoniului mondial UNESCO.

CONCLUZII

Patrimoniul cultural material din bazinul râului Botna cuprinde 157 de obiective, peste 1/3 fiind situri arheologice. Unele valori culturale materiale identificate au un potențial considerabil de a fi propuse pentru includerea în Lista Patrimoniului Cultural Mondial UNESCO, în special în contextul transfrontalier al Valului lui Traian, care traversează și alte țări din regiune (rețeaua similară de situri din limitele României a fost deja introdusă pe lista UNESCO în anul 2024, cu denumirea „Frontierele Imperiului Roman – Dacia”, dosarul 1718).

REFERINȚE:

1. *Convenția UNESCO privind protecția patrimoniului mondial cultural și natural*. Adoptată la Paris la 16 noiembrie 1972. Disponibil: https://whc.unesco.org/en/conventiontext/ [accesat la 15.04.2025].
2. *Ghidul operațional pentru implementarea Convenției privind protecția patrimoniului mondial cultural și natural*. Ediția revizuită 2024. Paris: UNESCO, 2024. Disponibil: https://whc.unesco.org/en/guidelines/ [accesat la 15.04.2025].
3. Registrul monumentelor Republicii Moldova ocrotite de stat. Ediția a 2-a, revăzută și completată. Chișinău: Ministerul Culturii, 2016. Disponibil: https://mecc.gov.md/sites/default/files/registrulmonumentelorrmocrotitedestat2016.pdf [accesat la 2.05.2025].
4. Legea nr. 1530 din 22 iunie 1993 privind ocrotirea monumentelor. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 1, 1994.
5. Legea nr. 148 din 28 iunie 2018 privind Registrul monumentelor de for public. În: Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 309–320, 17 august 2018 cu modificări anterioare.
6. *Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Apele de suprafață*. Cazac V., Mihăilescu C., Bejenaru G., Gîlcă G. Chișinău: Știința, 2007. 248 p.

7. Lista statelor părți la Convenția privind protecția patrimoniului mondial cultural și natural. UNESCO – Centre du patrimoine mondial. Disponibil: https://whc.unesco.org/en/statesparties/ [accesat la 15.04.2025];
8. World Heritage List Statistics. UNESCO – Centre du patrimoine mondial. Disponibil: https://whc.unesco.org/en/list/stat [accesat la 09.07.2025].
9. Matveev S., Vornic V. Valurile lui Traian din Basarabia: surse scrise, cercetări arheologice și interdisciplinare. În: *Descoperiri vechi şi abordări noi în arheologia epocii fierului din spaţiul tiso-nistrean: colocviu de vară*, 28-31 iulie 2022, Chişinău. Chișinău-Saharna: Casa Editorial-Poligrafică „Bons Offices" SRL, 2022, pp. 283-305.

MOUNTAIN URBANISM IN DARJEELING HIMALAYANS: INTEGRATING SUSTAINABILITY AND DISASTER PREPAREDNESS

URBANISM MONTAN ÎN HIMALAYA DIN DARJEELING: INTEGRAREA DURABILITĂȚII ȘI A PREGĂTIRII PENTRU DEZASTRE

CZU: 502.131.1:911.3(540:23) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.72**

Sukanta DAS
ORCID:0009-0002-2326-639X
E-mail: sukanta@dbndsm.ac.in
Affiliated College under The University of Burdwan, India

Sumar. *Creșterea rapidă a urbanizării recente, determinată de creșterea populației, oportunitățile economice și industrializare, a devenit o preocupare la nivel global. Expansiunea necontrolată exercită presiune asupra resurselor, ceea ce duce la degradarea mediului, reducerea biodiversității și creșterea poluării. Regiunea Himalaya din Darjeeling a generat îngrijorări semnificative de ordin ecologic, precum urbanizarea accelerată, defrișările, degradarea solului, alunecările de teren și extracția apei naturale — factori care sporesc riscul de dezastre naturale în zonă.Această cercetare investighează natura dezvoltării urbane din aria de studiu și propune soluții pentru o dezvoltare urbană durabilă. În urma unui studiu de teren detaliat, realizat prin observație directă și interviuri cu părțile interesate, precum și prin revizuirea literaturii de specialitate existente, autorul oferă soluții pe termen lung, precum: stabilizarea versanților, menținerea zonelor verzi, aplicarea unor tehnici de construcție controlate și gestionarea eficientă a sistemelor de drenaj.Implementarea riguroasă a acestor tehnici în zona analizată va reduce probabilitatea producerii unor dezastre precum cutremurele, alunecările de teren și viiturile, contribuind în același timp la conservarea mediului și la dezvoltarea durabilă a regiunii. Concluziile cercetării oferă fundația pentru ghiduri de planificare urbană și inițiative politice menite să reducă riscurile dezastrului și degradarea mediului.*

Cuvinte-cheie*: Dealurile Darjeeling, Managementul dezastrelor, Conservarea mediului, Atenuarea/alungarea riscului de alunecări de teren, Planificare urbană durabilă*

INTRODUCTION

In India, mountain urbanization is a complicated blend of development and ecological constraints, particularly in the Eastern Himalayas, where Darjeeling is a noteworthy example. Once a British hill station, Darjeeling has seen a major urban transition due to population increase, tourism, and infrastructure development [1, 2]. But this evolution occurred in a fragile environmental region characterized by steep slope, high precipitation intensity, earthquake weakness, and sensitive biodiversity [3-5]. Located in a high earthquake risk region and prone to landslides and soil decay, Darjeeling is an example of complex challenges raised by mountain urbanism in the Indian context [6-8]. The city's

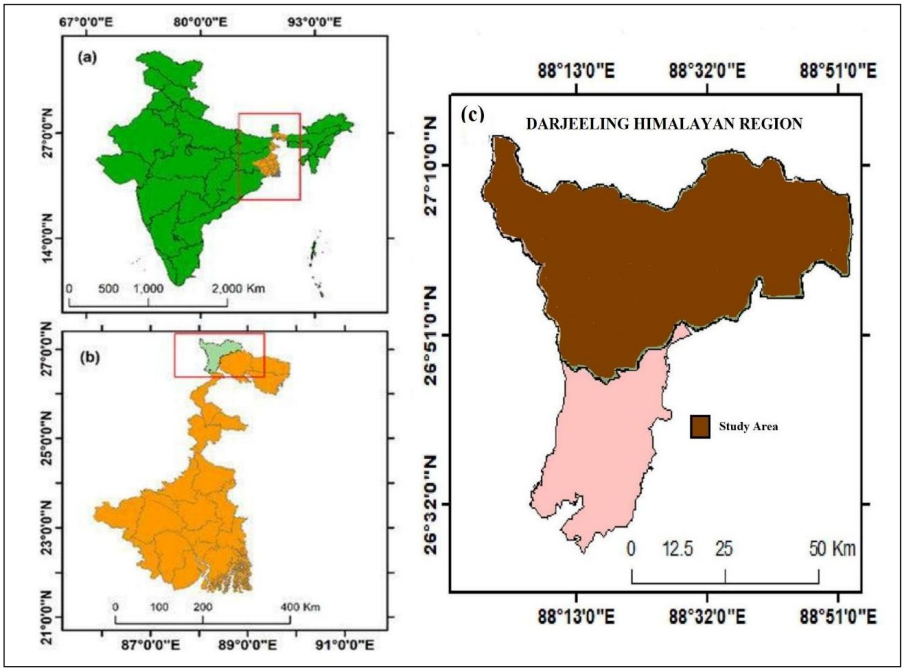
orographic precipitation, which often exceeds 3000 mm annually, destabilizes the terrain, making shield management and flow control important for sustainable development [8,9]. Uncontrolled urban growth in Darjeeling led to land-use changes that ignore topographic thresholds, resulting in landslide-prone slopes and the degradation of forest cover and ecosystems [10,11]. Fast vertical expansion and density have increased the burden of old infrastructure, resulting in additional drainage systems, solid waste deposits in water, and mountain carrying capacity [12-14]. In addition, traditional settlement planning strategies have been replaced by concrete expansion without adherence to proper geological evaluation or building codes [15,16]. This unplanned development undermines socio-economic-environmental balance and increases community weaknesses towards disaster. Many urban settlements in Darjeeling are characterized by poor road connections, insufficient water supply, lack of sanitation network, and lack of waste management, which often leads to environmental pollution and health risks.[17]. In the rainy season, these infrastructure weaknesses became catalysts for local floods and landslides, especially in informal settlements built on unstable slopes [19,20]. Urban expansion has intensified the division of forest corridors and wildlife habitat, contributing to reducing environmental pressure and ecosystem services [21,22]. Climate change adds another level of complexity to mountain urbanism, changes in precipitation type, an increase in temperature trend, and extreme weather events already pose more risk for weak urban systems [23-24]. Despite numerous policy structures and institutional processes, such as the National City Policy Structure (2018), state action plans on climate change, and the Smart City Mission-Hill Region implementation remain insufficient due to limited capacity, fragmented regime, and lack of mountain-specific urban design techniques [25,26]. The need to integrate durability in Darjeeling's hill urban planning is derived not only from environmental sensitivity but also from the need to increase the elasticity of its socioeconomic system. Concepts such as shield-sensitive architecture, blue-green infrastructure, decentralized waste treatment, and participatory planning need to be flowed in mainstreamed within the urban policy framework [27,28]. In addition, the Sendai Framework (2015-2030) emphasizes the critical need for disaster resilience in urban administration, given geographically limited and disaster-prone settings, particularly in Darjeeling [29,30]. Therefore, integration of sustainability and disaster preparation in Darjeeling's urban plan is essential to ensure environmental integrity, reduce risk, and promote the right and elastic urban future of the Himalayas.

MATERIAL AND METHOD

The current study employs a mixed-methods approach that synthesizes spatial analysis, statistical techniques, and participatory research tools to generate comprehensive insights into urban-environmental challenges and opportunities in this region. The field of study, the Darjeeling Municipality and its Peri-Town Environment, is located in the East Himalayas region of West Bengal, India, characterized by steep slope, complex landforms, and high environmental sensitivity. Initial information was collected through comprehensive field inspection, including the systematic monitoring of urban infrastructure, housing

patterns, and environmental degradation. Semi-structured interviews and focus groups were conducted with local partners to collect insights about urban administration, infrastructure shortages, disaster preparations, and traditional adaptation practices, including residents, municipal officials, NGOs, and planners. Secondary data have been collected through different governmental sources like the Census of India, the Geological Survey of India, different policy papers, books, and journals. The quantitative data have been analysed through the statistical techniques and used the GIS method for the preparation of a location map.

About the Study area: The study area Darjeeling Himalayas geographically located in the northern part of West Bengal, 26°31′ north latitude and 87°59′ east to 88°53′ east to 88°53′ east. Part of the East Himalayas, this mountain area is composed of steep slopes, fragile geology, and is earthquake-sensitive. Urban centres like Darjeeling, Kalimpong, Kurseong, and Mirik have witnessed rapid, unplanned urban development driven by immigration. These cities are characterized by dense population, insufficient infrastructure, and increasing environmental pressure. The environment-sensitive landscape of this region frequently encounters landslides, water shortages, and waste management, which makes it an important field for studying sustainable urban development and disaster preparation. Geographical constraints in Darjeeling, the unique combination of socioeconomic diversity and environmental risk, present an interesting context to explore hill urbanism strategies. This study field provides valuable insights to maintain the balance of environmental integrity with urban elasticity in the fragile environment of the Himalayas.



Map 1: Location of the study area

RESULTS AND DISCUSSIONS

Urban Growth and Spatial Dynamics:

The four major hill towns and cities in the Darjeeling Himalaya are Darjeeling, Kalimpong, Kurseong, and Mirik. In 2011, 25.37% of the region's total population lived there. Urbanization is a sluggish process, but given the overall impacts it has already caused to the local ecosystem, its unchecked growth cannot be disregarded.

Table 1: Spatio-temporal Urban Growth (1981-2011)

Year	Name of the Municipal Town				Total Urban Population *(Persons in Number)*
	Darjeeling	**Kalimpong**	**Kurseong**	**Mirik**	
1981	57603	28885	18008	-	104496
1991	73062	38832	26758	7022	145674
2001	107197	42998	40019	9141	199355
2011	118805	49403	42446	11513	222167

Source: Census of India

Table 1, shows that in 1981, Darjeeling town accounted for almost 55% of the urban population in the Darjeeling Himalayan region. Kalimpong and Kurseong had correspondingly lower urban population proportions of 28% and 17%, respectively. In 1991, Darjeeling Town accounted for half of the urban population, followed by Kalimpong (27%), Kurseong (18%), and Mirik Town (5%). According to the data, Darjeeling had the largest percentage of urban residents in 2001, roughly 54% followed by Kalimpong (21.5%), Kurseong (20%), and Mirik (4.5%). Although the spread of urbanization has never been a significant or unique phenomenon of colonization of the hill areas, it is surprising to learn that the four towns, which are widely separated from one another, have remained relatively small in size with a slow and indecisive rate of growth. In the 2011 census, Darjeeling town had a 53.5% urban population, followed by Kurseong (19.1%) and Kalimpong (22.2%). The region's smallest town, Mirik Town, recorded a meagre 5.1% during the same census period.

Table 2: Spatio-Temporal Variation of Urban Growth in the Study Area

Name of Town	**1981-1991** (Value in Percentage)	**1991-2001** (Value in Percentage)	**2001-2011** (Value in Percentage)
Darjeeling	26.84	46.72	10.82
Kalimpong	34.44	10.73	14.9
Kurseong	48.6	49.6	6.06
Mirik	0	30.18	25.94

Source: prepared by the author based on Indian Census data

Population growth in the study region, which is being evaluated for this study, has been occurring since 1981. From 1981 to 2011, the population growth rate fluctuated gradually in practically every town. Darjeeling, Kalimpong, Kurseong, and Mirik are the four major hill towns in the Darjeeling District and West Bengal. Though Darjeeling is the district headquarters, its growth is relatively slow and erratic; from 1981-91, the decadal growth rate was 26.84%, which increased somewhat to 46.72% in 1991-2011 but dropped dramatically to 10.82% in 2001-2011 (Table: 2). Kurseong town experienced the most decadal change, with 48.6% and 49.6% during 1981-1991 and 1991-2001, respectively, before dropping dramatically to 6.6% between 2001 and 2011. Kalimpong, on the other hand, recorded 34.44% from 1981 to 1991, with a subsequent fall in decadal change of 10.73% from 1991 to 2011, and 14.9% from 2001 to 2011. Mirik, which only became a town in 2001, experienced a decadal population change of 30.18% from 1991 to 2001 and 25.94% from 2001 to 2011.

Table 3: Comparative Analysis of Urban Growth

Census Year	1981	1991	2001	2011
Overall Urban Growth in West Bengal State (%)	26.47	27.48	28.03	31.89
Urban Growth in Darjeeling Himalayan Hill Region (%)	27.55	30.47	32.34	39.42

Source: Census of India

The above Table 3 shows that during the year 1981, the overall growth of urbanization in West Bengal (26.47%) concerning the total population in West Bengal and the Darjeeling Himalayan Hill Region (27.55%) for the total population in the Darjeeling Himalayan Hill Region were nearly equal. However, the disparity grows over time; during the 1991 census, the Darjeeling Himalayan region experienced about 3% more urban growth (30.47%) than the state of West Bengal as a whole (27.48%). The disparity increased by around 5% between Census 2001 and Census 2011, reaching about 8% of the Darjeeling Himalayan Hill Region (39.42%) vs the total State urbanization (31.89%). As a result, the aforementioned evidence of unplanned rapid urbanization contributes to sustainable urban growth in the studied area.

***Environmental Concerns Related to Unplanned Urbanization in the Darjeeling Himalayan Hill Region*:**

Rapid urbanization in the Darjeeling Himalayan hills region has serious consequences for both ecological balance and catastrophe susceptibility. This growth, driven mostly by a rising population and tourists, has put tremendous strain on the area's natural environment, resulting in a variety of ecological disruptions and increased susceptibility to natural disasters.

***Deforestation and Loss of Biodiversity*:** Large tracts of forest are frequently destroyed to make way for new buildings, roads, and infrastructure. These forests, which

are home to diverse flora and animals, serve an important role in preserving ecological balance by stabilizing soil, supporting biodiversity, and regulating local microclimates. The loss of vegetation not only causes habitat fragmentation and species extinction, but it also affects ecosystem balance, making them more vulnerable to invading species and lowering biodiversity.

Water Resource Strain**:** Urban expansion has increased demand for water, putting a strain on the region's scarce water resources. Natural springs and streams, which are already constrained by steep topography, are frequently depleted or polluted as a result of uncontrolled garbage dumping and runoff from construction sites. The loss of green cover also reduces groundwater recharge, exacerbating water scarcity concerns. Polluted water sources endanger aquatic life and residents' health, restricting access to safe drinking water.

Soil Erosion and Degraded Soil Quality**:** When natural vegetation is destroyed for urban development, exposed soil becomes more prone to erosion, particularly during the monsoon season. Erosion depletes soil fertility, affecting local agriculture and further undermining slopes. Urban development also compacts soil, reducing its ability to absorb water, interfering with natural drainage, and limiting the regeneration of native plant species, all of which contribute to a loss in soil health and stability.

Landslide Susceptibility**:** Unregulated development on high slopes raises landslide hazards. Natural slopes are altered, and heavy concrete structures replace forests that would normally serve as natural stabilizers. During the monsoon rains, water infiltration destabilizes slopes that are no longer supported by tree roots, increasing the frequency and severity of landslides. Landslides cause infrastructure damage, harm lives, and contribute to soil and habitat loss.

Flooding and Drainage Issues**:** Natural drainage systems are frequently blocked or modified during urban expansion, resulting in flash floods and waterlogging in low-lying areas. Increased impermeable surfaces, such as roads and buildings, limit rainwater infiltration, resulting in faster and more intense runoff. Without suitable drainage systems, heavy rains quickly overwhelm the ground, generating floods that sweep away topsoil and worsen landslide hazards.

Waste Accumulation and Pollution**:** Increased urban garbage creation, particularly during tourist seasons, puts a strain on existing waste management facilities. Improper disposal procedures cause solid waste to clog drainage systems, pollute waterways, and contribute to flash flooding and sanitation difficulties. Polluted water bodies and accumulated trash worsen the environment, producing breeding grounds for illness and threatening community health.

Climate Change Sensitivity**:** Darjeeling's high altitude and sensitive ecosystems make it especially vulnerable to the effects of climate change, which are exacerbated by urbanization. Deforestation and urban pollution contribute to global warming, resulting in erratic rainfall patterns, rising temperatures, and greater vulnerability to extreme weather events. In addition to raising the risk of natural disasters like floods and landslides,

this unpredictability affects local livelihoods, especially those that depend on agriculture and tea plantations, which are particularly vulnerable to the effects of climate change. Rapid development in the Darjeeling hills destroys ecological balance and increases catastrophe susceptibility, testing the resilience of both the natural environment and local inhabitants. Sustainable urban development, which includes slope stabilization, reforestation, efficient waste management, and correct drainage, is critical for limiting these effects while preserving Darjeeling's distinctive environmental and cultural heritage.

Integrating Sustainability and Disaster Preparedness:

Darjeeling Himalayan stability and disaster preparation effectively requires a versatile and active strategy that connects environmental integrity, community resilience, and a responsive regime. First, the shield-sensitive urban design must become a foundation of all construction activities, making the strategic use of terracing and maintenance walls to reduce the risk of thorough geo-technical evaluation, earthquake-resistant architecture, and landslides. Secondly, blue-green infrastructure should be widely adopted to increase environmental stability and reduce climate-related dangers; this includes bio-soil, rainwater conservation systems, urban forests, and green roof development that reduces surface flow, improves air quality, and preserves biodiversity. Third, empowering local partners by integrating domestic knowledge systems in training, awareness campaigns, participatory mapping, and hazard management plans to give institutional formation to reduce community-based disaster risk (CBDRR) by empowering local partners. A decentralized view of disaster preparation can increase ownership, improve responsibilities, and build social capital. Fourth, smart technology should be used like remote sensing, IoT-based slope monitoring, and a mobile-based initial precautions system to increase risk detection and communication. These tools must be complementary with powerful data-sharing protocols and an inter-organization combination structure. In addition, marginal communities, especially informal settlements in high-risk areas, actively engage in planning processes and further strengthen the inclusive urban regime system to ensure that basic services and protected housing are accessed. Pedagogical reforms must focus on updating and implementing the master plan, clarifying administrative overlaps between GTA and municipalities, and allocating the budget dedicated to climate resilience initiatives. Finally, sustainable tourism policy should be created to promote eco-tourism compatible with the goal of preservation, as well as limit seasonal additional burden on urban infrastructure. With an integrated, participatory, and place-specific structure, Darjeeling can become a model of sustainable hill urbanism that not only protects its unique environmental and cultural heritage but also ensures a safer and more resilient future for its residents.

CONCLUSIONS

The urban growth of Darjeeling has expanded to high-risk areas characterized by steep slopes, volatile geology, and environmental sensitivity, increasing landslides, sudden floods, and water shortages. The study highlights how informal settlements, insufficient

solid waste management, old water infrastructure, and poorly applied building rules have significantly increased both environmental degradation and disaster risk. At the same time, low-level community awareness and fragmented institutional reactions limit the city's ability to prepare and mitigate and mitigate for climate-induced and geopolitical hazards. However, the research also highlights emerging opportunities for community-driven initiatives, green infrastructure, decentralized systems, and the promotion of sustainable and resilient urbanism through traditional environmental knowledge. Darjeeling's urban planning practice requires an exemplary change to adjust to its unique geographical and climatic reality. Correcting and applying sensitive urban master plans to the risk of earthquakes and slope instability, mapping scientific hazards and environmental restrictions, is essential to integrate with zoning laws and building regulations. Community-based disaster preparation, including a local warning system and Word-level risk reduction plan, must be institutional and supported through regular training and imitation. Eco-sensitive zoning, supported by an effective monitoring system, should prevent further occupation in important shields, forests, and exhaust corridors. The most important thing is that resilience in regional development strategies must be brought to the mainstream by incorporating climate adaptation, risk management, and sustainable infrastructure plans in the original order of local and state authorities. Darjeeling experience provides valuable insights for mountain cities across the Himalayas, which demonstrates the urgent requirements of inclusive and futuristic urban planning, integrated at the root of sustainability and disaster preparation.

REFERENCES:

1. N. Juyal, "Urbanization and Environment in the Himalayas," *Indian J. Reg. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 77–86,2018.
2. S. Chakraborty and D. Saha, "Urban Morphology and Growth in Darjeeling," *Int. J. Urban Sustain. Dev.*, vol. 11, no. 2, pp. 186–200, 2019.
3. R. Bhandari, "Fragile Mountains and Rapid Urbanization," *J. Geogr. Reg. Plann.*, vol. 7, no. 4, pp. 63–72, 2014.
4. G. Bera and D. Roy, "Urban Expansion and Slope Instability in Darjeeling," *J. Environ. Geogr.*, vol. 12, pp. 43–50, 2020.
5. D. Bhutia, "Land Use Transformation in Darjeeling Himalaya," *Himalayan Geogr.*, vol. 34, pp. 117–127, 2020.
6. S. Ghosh and R. Maiti, "Landslide Vulnerability Assessment in the Darjeeling Himalayas," *Geomorphology*, vol. 312, pp. 126–137, 2018.
7. A. S. Ghosh, "Seismic Risk in Darjeeling," *Indian J. Earth Sci.*, vol. 45, no. 2, pp. 120–129, 2017.
8. IMD, "Climate Profile of West Bengal," *India Meteorological Department*, 2022.
9. A. Dutta and P. Basu, "Monsoonal Rainfall and Urban Risks," *Clim. Res.*, vol. 71, pp. 89–98, 2018.

10. D. Mandal and S. Das, "Urban Growth in the Darjeeling Hill Area," *J. Mt. Sci.*, vol. 15, no. 6, pp. 1382–1394, 2018.
11. P. Chhetri, "Ecological Footprints of Urban Sprawl in Darjeeling," *Asian J. Urban Environ. Stud.*, vol. 5, pp. 78–90, 2019.
12. A. Sarkar et al., "Waste Management in Hill Stations," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 193, no. 3, pp. 1–13, 2021.
13. B. Roy and A. Bera, "Infrastructure Vulnerability in Himalayan Towns," *Nat. Hazards*, vol. 102, pp. 295–314, 2020.
14. T. Tamang, "Urban Infrastructure in Darjeeling," *Dev. Pract.*, vol. 30, no. 5, pp. 638–649, 2020.
15. D. Subba, "Traditional Settlement Patterns in the Hills," *J. Himalayan Cult.*, vol. 29, pp. 67–76, 2015.
16. S. Chettri and A. Sharma, "Risk-Sensitive Urban Planning," *Urban India*, vol. 39, no. 1, pp. 54–63, 2019.
17. D. Ghosh, "Solid Waste and Urban Health in Darjeeling," *Environ. Plan. B*, vol. 46, no. 3, pp. 521–536, 2019.
18. K. Lama, "Water Supply and Infrastructure Crisis in Darjeeling," *J. Mt. Dev.*, vol. 33, pp. 105–115, 2018.
19. M. Mitra, "Landslide-Induced Disasters in Darjeeling," *Disaster Risk Reduct.*, vol. 14, pp. 112–122, 2020.
20. S. Pradhan, "Informal Settlements in the Himalayan Urban Fringe," *Asian Geogr.*, vol. 38, no. 2, pp. 103–115, 2019.
21. B. T. Rai, "Biodiversity Threats from Urban Expansion," *Mt. Res. Dev.*, vol. 41, no. 2, pp. 189–197, 2021.
22. A. Kar and D. Dey, "Land Fragmentation and Habitat Loss," *J. Landsc. Ecol.*, vol. 35, no. 1, pp. 66–74, 2021.
23. IPCC, "Climate Change 2021: Impacts, Adaptation, and Vulnerability," Cambridge University Press, 2021.
24. S. Singh, "Climate Variability and Its Urban Impact in the Himalayas," *J. Climatol. Res.*, vol. 10, pp. 51–62, 2020.
25. NITI Aayog, "National Urban Policy Framework," Government of India, 2018.
26. Government of West Bengal, "State Action Plan on Climate Change (SAPCC)," 2017.
27. UN-Habitat, "Planning for Climate Resilient Urban Development," Nairobi: UN-Habitat, 2018.
28. M. Hazarika and P. Goswami, "Green Infrastructure in Mountain Cities," *Urban Clim.*, vol. 34, pp. 100–110, 2020.
29. UNDRR, "Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030," United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015.
30. NDMA, "National Disaster Management Plan," Government of India, 2019.

MINERALOGENEZA FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DIN CADRUL SEGMENTULUI MOLDOVENESC A BAZINULUI R. NISTRU

MINERALOGENESIS OF GEOLOGICAL FORMATIONS WITHIN THE MOLDOVAN SEGMENT OF THE DNIESTER RIVER BASIN

CZU: 553.04(478:282.2) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.73**

Andrei DIDUH
ORCID: 0009-0005-3696-0569
E-mail: andrei.diduh@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Valerian CIOBOTARU
ORCID: 0009-0005-2098-6174
E-mail: valerian.ciobotaru@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Alexandru TAMBUR
ORCID: 0009-0002-2010-6235
E-mail: alexandr.tambur@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Hanna CHARUSHNIKAVA
ORCID: 00 09-0007-8204-5104
E-mail: hanna.charushnikava@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Irina COCIU
ORCID: 0009-0006-3141-7687
E-mail: irina.cociu@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This paper presents a geological synthesis of data from geological reports in the collection of the Agency for Geology and Mineral Resources. The segment of the Dniester River*

basin within the northeastern territory of the Republic of Moldova has always been an object of mineralogical study, carried out both for the purpose of establishing the geological evolution of the Precambrian and for the purpose of determining the geological-economic perspective of the Precambrian sedimentary and crystalline formations in this region. Geological mapping and prospecting were carried out in the last decades of the last century, based on three main geological factors – the shallow depth to the surface of the platform base consisting of Archean-Proterozoic crystalline rocks, the presence of a disjunctive tectonic structure – the Dniester Fault and the presence of isolated metalliferous mineralization in the Ediacaran basal strata.

Keywords: *anomaly, crystalline rocks, drilling, Ediacaran, geochemistry, geological formations, mineralogenesis.*

INTRODUCERE

În procesul lucrărilor de cartare geologică la scara 1:200000, efectuate în regiunile de nord şi nord-est a Republicii Moldova (Figura 1), în ultimele decenii ale secolului trecut au fost efectuate o serie de cercetări geochimice în stratele terigene de vărstă ediacarană ale cuverturii sedimentare și în formaţiunile cristaline arhean-paleoproterozoice ale soclului cristalin constituit din gnaise, şisturi cristaline, plagiogranite, enderbite, alaskite, leucogranite etc.

Deoarece analizele chimice, din mai multe considerente (costul ridicat, randamentul, numărul redus de elemente), nu puteau fi executate într-un volum suficient pentru obţinerea unui tablou general al câmpului geochimic, concentraţiile a mai multor elemente chimice, în special a Ba, Be, Pb, Sn, Ti, W, Mn, Nb, Ga, Cr, Ni, Bi, Co, Mo, V, Cu, Zn, Zr, Ag, Cd, Y, Yb, La, Ce, P, Sr, In, Ge, Hf, Sc, Hg, U, Th, Tl, Li, As, Sb şi Ta au fost determinate prin metoda spectrografică [1].

Scopul lucrării constă în aprecierea potențialului mineralogenetic al regiunii studiate, prin identificarea și analiza anomaliilor geochimice, în vederea aprecierii perspectivelor de localizare a unor minerale utile.

MATERIAL ȘI METODĂ

Acest studiu este bazat pe sintetizarea și interpretarea materialelor geologice disponibile, rezultate din cartări, studii de prospecțiune, și din diverse analize (geochimice, spectrografice, prin absorbție atomică etc.), realizate în cadrul segmentului moldovenesc al bazinului râului Nistru, în zona de Nord-Est a Republicii Moldova.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Un interes deosebit, din punct de vedere al perspectivelor geologico-economice, este atribuit stratelor bazale ale ediacaranului nistrean. Astfel, este binevenit de a expune o caracteristică litologică succintă a membrilor inferiori, reprezentați în succesiunea stratigrafică:

- **Membrul Olcedaev**: reprezentat de roci cu granule grosiere: conglomerate cu pietriș mic, pietriș, pietriș-gresii cu diverse granulații (de la fine la grosiere); argilitele

și siltiturile formează intercalații rare și nesemnificative. Rocile se deosebesc printr-o sortare slabă a granulelor.

- **Membrul Lomozov**: reprezentat de argilite cu mică, de culoare cenușiu-închisă, care alternează cu intercalații de gresii și siltituri.
- **Membrul Cosăuți (Yampol)**: reprezentat, în partea inferioară, de gresii cu granulație grosieră și variată, arkozice, local cu trecere în pietriș, care treptat în partea superioară. sunt înlocuite de gresii cenușiu-deschise „zaharoide".
- **Membrul Kalius**: constituit din argilite cu o stratificație fină, de culoare cenușiu-închisă, aproape negre și cenușiu-verzui-brune, cu intercalații rare de siltite de aceeași culoare. Numai pentru argilitele de *Kalius* sunt specifice așa numitele structuri *cone in cone*, apărute din cauza prezenței în masa rocilor a unor stratificații foarte fine, alcătuite din calcit, dolomită sau siderit. Frecvent sunt întâlnite concrețiuni de fosforite [2].

Probe pentru analize geochimice au fost colectate practic din toate forajele de cartare (Figura 1). Concentrațiile elementelor chimice determinate în varietățile de roci, în majoritatea cazurilor s-au dovedit a fi foarte mici și, cu excepția unor anomalii nesemnificative, se află la nivelul sensibilității metodei spectrografice. Din această cauză, datele geochimice pot servi numai la studiul repartizării în formațiunile ediacaranului a câtorva elemente chimice – de exemplu a zincului, plumbului, bariului și argintului.

Calitatea analizelor spectrografice a fost estimată prin dublarea a 53 de probe și determinarea în compoziția acestora a Pb și Zn prin metoda absorbției atomice [1]. Ultima, spre deosebire de cea spectrografică, este o metodă mult mai precisă.

La nivelul cartărilor geologice la scara 1:200000, datele concentrațiilor din setul impunător de elemente chimice reprezentate mai sus, au permis la nivel calitativ, iar în cazul concentrațiilor relative mai mari – la nivel calitativ-cantitativ, a determina specificul mineralogenetic al segmentului bazinului r. Nistru, reprezentat în *Figura 1*.

În formațiunile terigene ale ediacaranului sunt răspândite mineralizări izolate de sfalerit, galenă, baritină, fluorină. Anumite diviziuni stratigrafice ale vendianului din zona de nord-est a interfluviului Nistru-Prut sunt caracterizate de concentrații mari de Zn, Pb, Ba și F. În stratele inferioare, așezate imediat pe fundamentul cristalin și alcătuite din gresii grosiere, genetic legate cu formațiunile granitoide ale fundamentului, se înregistrează concentrații anomale de zirconiu și de metale rare – ytriu, lantan, yterbiu. Stratele din nivelele superioare ale vendianului se deosebesc printr-un fond geochimic relativ mare al fosforului, iar în argilitele din stratele *Kalius* (Ekl) sunt frecvente concreționile sferolitice de fosforite, cu diametru mediu de 3-5 cm (*Figura 2*).

Cercetările geochimice din zona centrală a bazinului r Nistru, în stratele ediacaranului și varietățile de roci cristaline ale soclului de platformă, au pus în evidență o serie de anomalii geochimice simple și complexe, diferențiate în aureole și puncte anomale constituite dintr-un singur element sau din mai multe elemente chimice.

Concentrații relativ mari de plumb și zinc aflate în formațiunile ediacaranului au fost întâlnite în mai multe foraje. Astfel, în forajele 07, 04, 03 și 06, în stratele membrului *Cosăuți* sunt traversate zone cu impregnații de galenă în granulație mică, iar în fora-

jul 04 (membrul *Lomozov*) sunt prezente apofize subţiri de galenă, grosimea cărora nu depăşeşte 0,5 mm [3]. Mineralizările sunt răspândite în gresiile cuarţoase şi feldspatice, cimentate cu un material carbonatic. Galena şi sfaleritul în granulaţie foarte fină, uneori microscopică, sunt prezente numai pe alocuri în cimentul carbonatic; frecventă este şi pirita. Compoziţia "fracţiei de minereu", definită în baza analizelor, este următoarea: sfalerit – 35 gr/t; galenă – 6 gr/t; pirită – 1,8 gr/t; fluorină – 11 gr/t. Originea se află în legătură geologico-genetică cu procesele epigenetice, care au influențat esențial varietățile litologice ale ediacaranului pe parcursul erelor geologice [4].

În cimentul gresiilor predomină calcitul, fiind repartizat neomogen, impune rocilor o textură specifică în pete. Petele, de obicei, au o formă izometrică şi în diametru nu depăşesc 10 cm. Mineralizări similare au fost descoperite şi în forajele 09 (intervalul 139,0-146,0 m), 017 (intervalul: 160,0-163,3 m). Forajele 015 şi 023 au desemnat o zonă cu concentraţii mărite de plumb şi zinc, numită anomalia *Salcia* [3].

Perspectiva acestei zone este foarte redusă atât din punctul de vedere al concentraţiilor foarte mici de Zn şi Pb, cât şi din cauza intervalelor productive de aproximativ 1-6 m grosime, situate la adâncimi ce variază între 180 şi 300 m.

Este important de menționat, că în zona centrală a bazinului r. Nistru, au fost descoperite mineralizări izolate de zircon, monazit şi apatit, dispersate în formaţiunile terigene ale ediacaranului. În baza analizelor spectrografice au fost determinate concentraţii de zirconiu (0,07-0,1%), ceriu – 0,08%, lantan – 0,1%, ytriu – 0,015%, yterbiu – 0,001% (suma TR ~ 0,19%), care, în general, se află la nivelul sensibilităţii analizei spectrografice [2, 5, 6,]. Anomaliile geochimice ale elementelor alcalin-pământoase sunt generate de mineralizările de zircon şi monazit. În forajul 022 sunt depistate zone cu concentraţii mari de zircon (concentraţia maximă – 55,5 gr/t, concentraţia medie – aproximativ 10 gr/t), monazit (concentraţia maximală – 202,8 gr/t, concentraţia medie – 5,5 gr/t). În gresiile de *Olcedaev* se conţine până la 603,4 gr/t de monazit şi 388,0 gr/t de zircon; suma concentraţiilor TR constituie 0,068%.

Alte mineralizări, de exemplu ale metalelor rare, prezente în concentraţii mici în aproape toate gresiile de *Olcedaev*, sunt repartizate în spaţiu fără nici un sistem cât de cât definit şi nu prezintă nici o valoare practică.

Stratele bazale ale cuverturii de platformă – ale membrilor Olcedaev și Lomozov, se disting printr-un fundal radioactiv natural relativ ridicat, foarte bine evidențiat în diagrafiile γ-carotajului. Radioactivitatea varietăților de roci sedimentare ale acestor membri este generată de prezența zirconului și monazitului în compoziția chimică ale cărora sunt prezente elemente izomorfe radioactive, Th sau U.

Referitor la anomaliile geochimice din varietățile de roci ale soclului cristalin, acestea, comparativ cu repartizarea elementelor chimice în stratele bazale ale cuverturii de platformă, au fost cercetate mai puțin detaliat, deoarece materialul petrologic a fost colectat din carotele forajelor care au traversat soclul pe segmente de 20-50 m adâncime de la suprafața soclului. În același timp, a fost stabilită o corelare, mai mult sau mai puțin evidențiată între mineralogeneza generate de metasomatismul magnesian-feros și

dinamomorfitele zonei tectonice a Faliei Nistrului [7]. Metalogenetica zonelor scoarței de alterare fragmentar prezentă pe teritoriu și constituite preponderent din caolinite cu amestecuri de minerale din rocile fundamentului (feldspați și cuarț) nu a fost stabilită.

În același timp, cartările geologice ale formațiunilor geologice din soclul cristalin și stratele bazale ale cuverturii efectuate în regiunea de nord-est a Republicii Moldova forajele 056^{a} și 056^{b} săpate în apropierea s. Parcani, Șoldănești (1 km spre sud de această localitate), în varietățile litologice ale Membrului Olcedaev a fost descoperită o anomalie radioactivă care cu mult depășește intensitatea 100 μR/oră (datele γ-carotajului). Probe pentru un studiu detaliat au fost prelevate din carotele extrase din ambele foraje.

Forajul 056^{a}: altitudinea punctului de forare este 204,0 m, adâncimea 532,0 m.

Investigațiile geofizicii de sondă fiind realizate până la adâncimea 498 m în intervalul (468,0 – 483,0) m au remarcat o anomalie radioactivă. Astfel, pe segmentul 471,4 – 471,7 m γ-carotajul a înregistrat o intensitate radioactivită de aproximativ 780 μR/oră, iar în intervalul (472,5 – 472,7) m – 500 μR/oră [3].

O altă anomalie radioactivă în stratele bazale grezoase constituite preponderent din gresii feltspat-cuarțoase în granulații diferite de culoare cenușiu-închis ale Membrului Olcedaev a fost descoperită în forajul 27 din apropierea s. Ciorna (Rezina). Aceasta este amplasat în lunca inundabilă a r. Nistru și în raport cu forajele 56^{a} și 56^{b}, se află la o îndepărtare de aproximativ 11 km spre sud-vest. Altitudinea gurii de sondă – 30 m, adâncimea – 310 m. În rezultatul γ-carotajul pe segmentul 261,0-261,4 m a fost înregistrată o intensitate radioactivă de 690 μR/oră [3].

Feldspatul este prezentat de microclin și, rareori, de plagioclaz. Structura rocii este psefit-psamitică cu un ciment argilos-hidromicaceu. Substanța argiloasă se află în cantități reduse, iar hidromica de culoare brun-deschis sub formă de solzi mici și fibre subțiri după compoziție corespunde hidrobiotitului. Între solzii de hidrobiotit se evidențiază impregnații de pirită, zircon și sfen. În rocă sunt observate pete lenticulare și vene subțiri de culoare brună în care sub microscop sunt văzute minerale dispersate de calcit și anhidrit în granulație fină. Cu calcitul se asociază pirita, galena, leucoxenul și anatazul microgranular. Material cu compoziție carbonatică în rocă este dispersat destul de neomogen. Radioactivitatea rocii este provocată de granule minuscule de xenotim rotunjit și sorbții de uraniu, asociate cu zonele de piritizare prezennte în mineralizările de calcit-anhidrit. Analizele roentgenospectrale din probele colectate în intervalul 261,0-261,4 m au stabilit concentrații ale uraniului – 0,0057% și a toriului 0,0017%. De menționat, că randamentul de extragere a carotei în acest interval constituie doar 13%.

CONCLUZII

În rezultatul cartărilor formațiunilor adânci din cuvertura sedimentară și soclul cristalin, perspectivele de a găsi în formațiunile geologice zăcăminte valoroase în cantități industriale nu se confirmă, ajungându-se la concluzia că regiunea centrală a bazinului r. Nistru este lipsită de zăcăminte metalifere în cantităţi semnificative.

În același timp, există premise pentru realizarea prospecțiunilor pământurilor rare (TR) în nivelele bazale ale cuverturii sedimentare.

Un interes deosebit îl prezintă membrul Kalius constituit din argilite bogate în fosforite.

Analizând rezultatele prospecțiunilor elementelor radioactive din sondele forate în s. Parcani și s.Ciorna, se constată o perspectivă redusă în ceea ce privește localizarea unor acumulări semnificative de uraniu și toriu în stratele bazale ale cuverturii sedimentare, în special – a Membrului Olcedaev. În același timp, există premise pentru a continua cercetările în acest scop.

Importanța lucrărilor de cartare geologică și prospecțiuni ale zăcămintelor minerale utile, efectuate în regiunea centrală a bazinului r. Nistru, constă în furnizarea unui material bogat care, indiferent de faptul că nu a fost valorificat la justa lui valoare, a servit totuși la rezolvarea unor probleme geologice fundamentale.

REFERINȚE:

1. Ciobotaru V. Specificul repartizării elementelor chimice minore în formaţiunile geologice din nord-estul Republicii Moldova // Buletin ştiinţific al Muzeului Naţional de Etnografie şi Istorie Naturală. Ştiinţele naturii, Vol. 2 (15). Ed. Liceum, Chişinău, 2005. p. 121-126 ISSN 1857-0054.
2. Popuiac A. Rare earths in geological formation of central region of the Dniester river basin, Republic of Moldova. // Advances in Geology, Hindawi Publishing Corporation, New York, 2015.
3. Захаров, А., Сергеев, В., Ciobotaru, V. Геологическое строение и полезные ископаемые Резинского горнопромышленного района. Fondurile AgeoM, Chișinău, (1987).
4. А.И. Копелиович. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. «Наука», Москва, 1965.
5. Popuiac A. Aspecte generale din geochimia pământurilor rare din nord-estul Republicii Moldova. // Buletinul Institutului de Geologie şi Seismologie al AŞM, N 1, 2009 29 УДК 550.423.
6. Popuiac A. Localization of geochemical aureoles of rare earths in the nordhem region of Republic of Moldova. // Horizons in Earth Science Research, volume 10. „NOVA", New York, 2013.
7. Ciobotaru V. Manifestări de metasomatism în formaţiunile cristaline din zona Faliei Nistrului. // Buletinul Institutului de Geologie şi Seismologie al AŞM, N1, 2014 105 CZU 551.72.

N.B. *Mulțumiri - Această lucrare a fost efectuată în cadrul Subprogramului de cercetări instituționale GEOSEISM cu codul 01.09.01.*

Mulțumiri lui Igor Nicoară pentru contribuția și sprijinul oferit în redactarea articolului.

INFLUENȚA LACURILOR DE ACUMULARE ASUPRA REGIMULUI HIDROLOGIC AL RÂULUI BOTNA

THE INFLUENCE OF LAKES ON THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE BOTNA RIVER

CZU: 556.55: 556.535(478:282) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.74**

Aliona ISAC
ORCID 0009-0006-1023-5470
E-mail: isacaliona0224@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Dinu PREPELIȚĂ
ORCID 0009-0005-1614-218X
E-mail: dinu.prepelita@meteo.gov.md
Serviciul Hidrometeorologic de Stat, Chișinău, Republica Moldova

Alexandru CORONOVSCHI
ORCID 0009-0008-7357-8256
E-mail: alexandrucoronovschi@gmail.com,
Serviciul Hidrometeorologic de Stat, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The paper analyzes the impact of reservoirs on the hydrological regime of the Botna River, a right tributary of the Dniester River, located in the central part of the Republic of Moldova. The study uses the "Indicators of Hydrological Change" (IHC) method to compare multiannual average flows before and after the construction of reservoirs in the Botna River basin, focusing on data from the Căușeni hydrometric station (1949–2024). Two periods were analyzed: 1949–1960 – natural hydrological regime and 1961–2024 – regulated hydrological regime (with reservoirs). Statistical methods and GIS (Excel, ArcGIS, QGIS) were used. Multi-annual average daily flows and runoff formation trends were analyzed. The multiannual average flow in the regulated regime (1961–2024) is ~0.82 m³/s, double the natural period (~0.39 m³/s). The general trend was for flow increases until the 1980s, followed by a slight decrease. Contrary to the initial hypothesis, the lakes did not have a negative impact on the long-term hydrological regime.*

Keywords: *watershed, reservoir, Botna River, hydrological regime.*

INTRODUCERE

Înțelegerea efectelor impactului lacurilor antropice asupra evoluției scurgerii într-o anumită regiune, în acest caz, bazinul hidrografic al râului Botna, este crucială pentru factorii de decizie locali și regionali, care efectuează managementul resurselor de apă și agențiile de mediu. O cercetare minuțioasă, poate oferi suport în luarea deciziilor

legate de valorificarea apei, dezvoltarea infrastructurii și pregătirea pentru eventuale dezastre naturale, inundații, secete etc. Această cercetare poate ajuta factorii de decizie și comunitățile să planifice și să se adapteze la condițiile de mediu în schimbare. Constatările din studiu pot conduce la elaborarea unor strategii pentru atenuarea impactului antropic negativ asupra scurgerii râului Botna, cum ar fi implementarea unor practici mai bune de gestionare a apei, îmbunătățirea infrastructurii și dezvoltarea strategiilor locale de adaptare, în special la climă.

MATERIALE ȘI METODE

La baza cercetărilor a stat metoda ,,Indicatorilor modificării hidrologice" (IHA) [Richter B., et all] [1]. Cercetările au fost axate pe impactul asupra valorilor debitelor medii multianuale și a tendințelor acestora pe anumite perioade caracteristice. Ca și criteriu de stabilire a existenței impactului negativ s-a folosit dinamica tendinței de formare a scurgerii. Menționăm, că în cazul când dinamica tendințelor debitelor la posturile cercetate sunt aceleași sau în creștere, este logic să spunem că acumulările de apă nu au influențat negativ asupra debitului mediu multianual al râului Botna măsurate la postul hidrometric (PH) Căușeni.

Pentru a argumenta ipoteza, cercetările au fost efectuate prin metoda comparației regimului hidrologic (valorile multianuale ale debitelor și tendința temporară a acestora) al râului Botna până și după construcția acumulărilor de apă.

Pentru comparații au fost folosite două perioade caracteristice ale șirurilor de date hidrologice de la PH Căușeni:

1. Începutul măsurătorilor în 1949 până în anul 1960, când au început să se construiască primele lacuri de acumulare (perioadă de timp când regimul hidrologic a fost natural).
2. Începând cu anul 1961 și până în prezent (regim hidrologic regularizat).

Obiectivele cercetării au fost realizate prin utilizarea metodologiei clasice pentru studii geografice, metodele principale fiind: cartografică, inductivă, a analizei, sintezei, comparativă, istorică, statistică ș.a.

Din arhiva SHS au fost analizate date factologice și materiale privind debitele medii zilnice multianuale în bazinul râului Botna, de la postul hidrometric Căușeni, pentru perioada 1949-2020. Baza de date colectată a fost structurată în cadrul programului Microsoft Excel, apoi datele în formă tabelară au fost sistematizate și analizate. În prelucrarea statistică a acestei informaţii şi în prezentarea spaţio-temporală s-au utilizat şi alte programe, cum ar fi ArcGIS, Qgis etc

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Bazinul hidrografic al râului Botna este situat în partea centrală a Republicii Moldova și trece prin două regiuni fizico-geografice: Podişul Codrilor și Câmpia Bâcului Inferior, ceea ce determină ca partea superioară a bazinului să fie caracterizată prin relief

mai accidental și fragmentat, iar cea inferioară prin relief de câmpie. Râul Botna trece prin 3 raioane administrative: Strășeni, Ialoveni și Căușeni și este unul din râurile interne ale Republicii Moldova și afluent de dreapta a fluviului Nistru.

Râul își începe cursul său în apropierea satului Stejăreni, raionul Strășeni, la aproximativ 2 km N-E de această localitate la o altitudine de 298 m [2] și se revarsă în râul Nistru la o altitudine de aproximativ 8,18 m, baza erozională constituind 316,21 m. Are o formă alungită de la nord-vest spre sud-est (fig. 1). Bazinul hidrografic al râului ocupă o suprafață de 1517,18 km² și se mărginește în partea sa inferioară cu lunca fluviului Nistru, iar altitudinea minimală a râului constituie 8.18 m. Râul Botna are o lungime de 152 km cu un grad mijlociu de înclinație de 0,24º. Fragmentarea orizontală a teritoriului este foarte puternică și constituie 0,67 km/km² [3].

Rețeaua hidrografică din bazinul râului Botna este relativ bine dezvoltată (0,55 km/km^2) și include 273 de râuri și râulețe cu o lungime totală de 841 km. Predomină râurile cu lungimea sub 10 km (263 de râuri), șapte râuri au lungimi de 10-20 km și unul singur are 23 km. Toate acestea se varsă în Botna - râul colector. Afluenții principali ai Botnei sunt Botnișoara, Baccialia, Căinar, Larga, Valea Puhoiului și Valea Vărăticului [4].

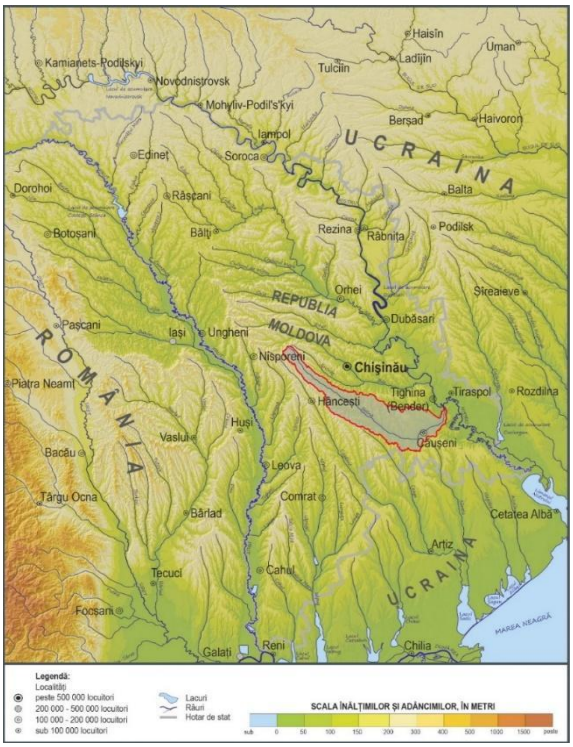


Figura 1. Poziția fizico-geografică a bazinului râului Botna

Sursa: Secția cercetări aplicative, Serviciul Hidrometeorologic de Stat

Aceste râuri și râulețe, alături de precipitațiile atmosferice, reprezintă resursele principale de apă din bazinul râului Botna și alcătuiesc scurgerea acestuia. Regimul hidrologic al bazinului este monitorizat de către Serviciul Hidrometeorologic de Stat, la postul hidrometric Căușeni, orașul Căușeni. Postul este situat în partea inferioară a bazinului. Observațiile asupra regimului hidrologic al râului Botna se efectuează din 1949 până în prezent, cu mici întreruperi. Astfel, în perioada 1949-2024 înregistrările arată că media multianuală a debitului este de 0,75 m^3/s [5]. Stratul scurgerii medii multianuale a râului Botna constituie 21 mm. În cadrul bazinului Botna au fost evidenţiate 266 lacuri cu suprafaţa de 1618,91 ha dintre care cele mai mari sunt lacurile Costeşti, Rezeni, şi Ulmu. Caracteristicile principale ale acestora sunt prezentate în tabel.

Aceste lacuri de acumulare influențează regimul hidrologic al râurilor, având un impact semnificativ asupra debitului, calității apei și disponibilității resurselor de apă. Ele contribuie la modificarea sau regularizarea hidrologică a râului care poate avea efect pozitiv sau negativ, reducerea riscului de inundații și asigurarea unei surse constante de apă pentru consumul uman și agricultură.

Tabelul 1. Caracteristicile hidrologice ale principalelor acumulări de apă

Lacul de acumulare	**Anul dării în exploatare**	**Suprafața (ha)**
Costeşti	1964	213
Rezeni	1989	203
Ulmu	1961	74

Procesele și factorii geografici de climatogeneză determină caracteristicile temporale și repartiția spațială a elementelor climatice, în primul rând a precipitațiilor atmosferice și temperaturii aerului. Lacurile de acumulare sunt un element important în formarea rezervelor de apă din spațiul bazinului hidrografic, structurii rețelei hidrografice, disponibilității apei și, în anumită măsură, de calitatea apelor. Toate cele 3 lacuri de acumulare din bazinul Botna sunt amplasate în amonte de postul hidrometric Căușeni. Este important de menționat că, fiind situate în amonte de postul hidrometric Căușeni, lacurile de acumulare influențează direct măsurătorile debitelor și nivelurilor apei în zona respectivă, care sunt monitorizate la acest punct. Astfel, gestionarea eficientă a acestor lacuri este esențială pentru menținerea unui regim hidrologic stabil și pentru prevenirea efectelor negative precum colmatarea sau scăderea semnificativă a debitului în aval.

Pentru o caracterizare generală, în fig. 2 este prezentat regimul hidrologic al r. Botna pentru toată perioada de monitorizare.

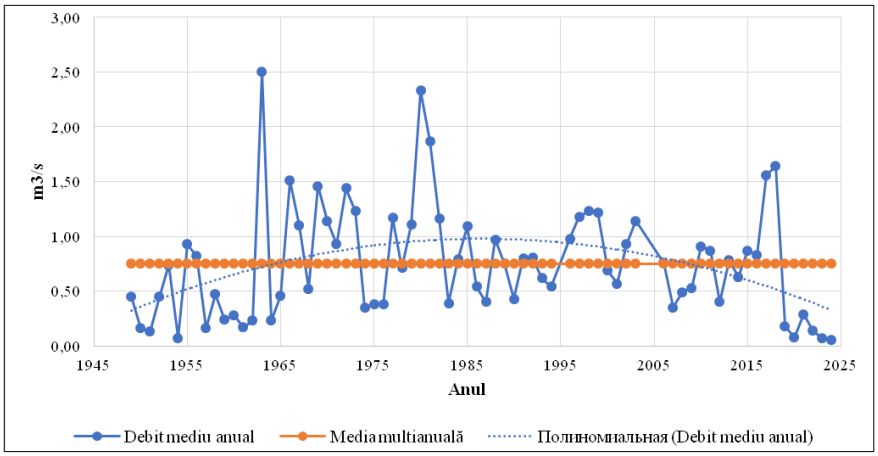


Figura 2. Regimul hidrologic, PH Căușeni 1949-2024

Sursa: Serviciul Hidrometeorologic de Stat [5]

Din acest grafic observăm că debitul mediu multianual este de cca 0,77 m^3/s ceea ce este de cca 2 ori mai mare decât în perioada de până la construcția acumulărilor de apă. Tendința generală se descrie cu o ecuație polinomială. Observăm că maximul debitelor au avut loc în anii ”80 ai secolului trecut, fapt ce se confirmă și prin efectele elucidate de studiile anterioare [6] în cazul analizei tendințelor regimului hidrologic al fl. Nistru. Ceea ce se observă din graficul tendinței regimului hidrologic este că atât la începutul perioadei de studiu cât și la sfârșitul acesteia debitul este aproximativ același (cca 0,4 m^3/s). Cu toate acestea am putea spune că spre sfârșitul perioadei studiate condițiile de formare a regimului hidrologic sunt mai bune decât la începutul acesteia dacă luăm în considerare faptul că suprafața de evaporare s-a mărit considerabil (cu cca 1618,91 ha).

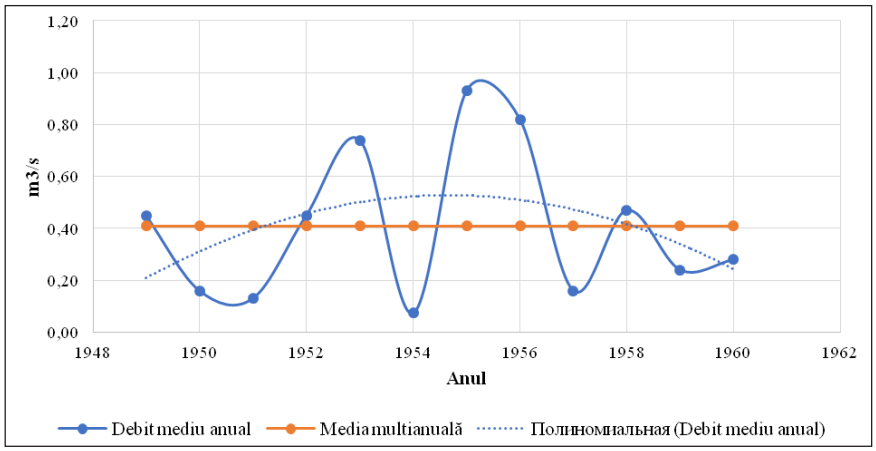


Figura 3. Regimul hidrologic natural al r. Botna în perioada 1949-1960

Sursa: Serviciul Hidrometeorologic de Stat [5]

Din această figură se observă că debitul mediu multianual este de cca 0,39 m^3/s, aproape de două ori mai mic decât debitul r. Botna pe toată perioada de monitorizare (fig.2). Tendința regimului hidrologic natural are aceeași alură ca și cel regularizat (fig.2) având un maximum în perioada anilor ”50 de cca 0,55 m^3/s.

În fig. 4 prezentăm graficul relației între nivelul debitelor medii anuale și multianuale pe toată perioada regularizată 1961–2024.

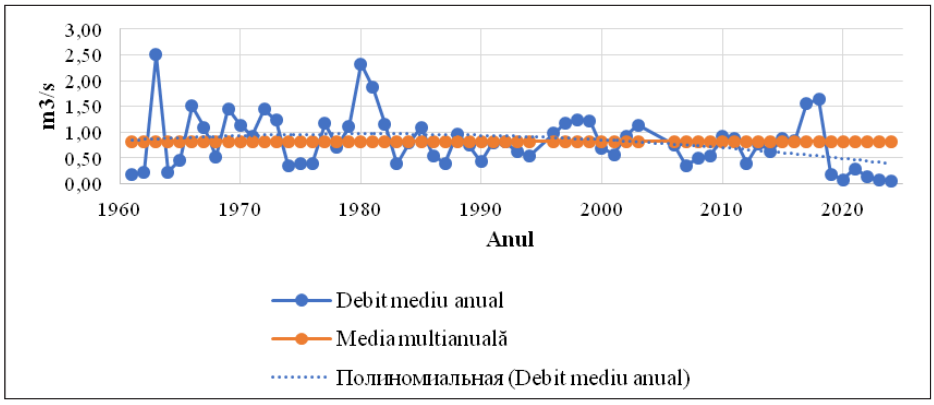


Figura 4. Regimul hidrologic al r. Botna în perioada regularizată 1961 – 2024
Sursa: Serviciul Hidrometeorologic de Stat [5]

Din această relație se observă că debitul mediu multianual este de cca 0,82 m^3/s și este de cca două ori mai mare decât în regim natural. Tendința debitelor a fost în creștere până în anii ”80, după care se atestă o scădere în timp mai bruscă a debitelor, ajungând, în mediu, la cca 0,40 m^3/s, având o creștere de cca două ori față de regimul natural.

Pentru a efectua comparația este necesară stabilirea unui reper față de care să se efectueze comparația. Ca și reper a fost ales tendința regimului hidrologic din perioada 1949 – 1961.

Comparând regimurile hidrologice din fig. 3 și 4 cu regimul hidrologic natural din fig. 2 se observă că debitele sunt esențial mai mari în cazul regimurilor hidrologice regularizate.

CONCLUZII

1. Ipoteza inițială precum că acumulările de apă construite influențează negativ asupra regimului hidrologic nu s-a adeverit. Regimul hidrologic al r. Botna s-a îmbunătățit esențial (debitele s-au majorat de cca două ori) în perioada când pe râu au fost construite lacuri de acumulare.

2. Debitul mediu multianual în regimul regularizat (1961–2024) este de ~0,82 m^3/s, dublu față de perioada naturală (~0,39 m^3/s).

3. În ultimii 10 ani regimul hidrologic s-a înrăutățit, ajungând la nivelul celui natural, dacă luăm în considerare și cantitatea de apă evaporată și infiltrată în plus în rezultatul majorării esențiale a luciului apei din contul acumulărilor construite.

4. Tendința generală a fost de creștere a debitelor până în anii ’80, urmată de o ușoară scădere.

REFERINȚE:

1. RICHTER B., Baumgartner J., Powell J., Braun D. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. In: Conserv. Biol., 1996, 10, p. 1163–1174, doi:10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x.
2. BEJENARU Gh., ș. a. Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Apele de suprafață. Chișinău: Știința, 2007. 248 p.
3. BEJENARU Gh., Evaluarea potențialului hidrologic al Republicii Moldova în condițiile modificărilor de mediu a peisajelor geografice. Teză de doctor. Chișinău, 2017, 189 p. http://www.cnaa.md/thesis/52181/
4. BEJENARU Gh,, Vitalie Mardari, modificarea resurselor de apă pe teritoriul Republicii Moldova prin prisma schimbărilor climatice, SHS, 2023. https://meteo.md/images/uploads/clima/researches/Evaluarea_resurselor_de_apa_MG.pdf
5. Fondul de Date Hidrometeorologice al Serviciului Hidrometeorologic de Stat.
6. CORONOVSCHI A., PREPELIȚĂ D., ISAC A., Analiza influenței complexului hidroenergetic nistrean asupra regimului hidrologic al fl. Nistru. Conf. Științ. „Integrare prin cercetare și inovare”, 7-8 noiembrie, Chișinău, 2024, p 543-550.

CADRUL CONCEPTUAL-TEORETIC ŞI APLICATIV DE INTENSIFICARE A PROCESULUI PRODUCŢIONAL ŞI DE REGENERARE A PEDOGENEZEI CERNOZIOMICE ÎN REGIM AGRICOL

CONCEPTUAL-THEORETICAL AND APPLICATIVE FRAMEWORK FOR INTENSIFYING THE PRODUCTION PROCESS AND REGENERATION OF CHERNOZOMIC PEDOGENESIS IN AGRICULTURAL REGIME

CZU: [631.43/.45 + 631.95]:574 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.75**

Gheorghe JIGĂU
ORCID: 0000-0002-4778-2105
E-mail: gheorghe.jigau@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Sergiu DOBROJAN
ORCID: 0000-0003-0040-5836
E-mail:sergiudobrojan84@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Galina DOBROJAN
ORCID: 0009-0003-1629-2220
E-mail: galinadobrojan87@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Iurie MOŞOI
ORCID: 0009-0005-8295-3060
E-mail: mosiur@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Boris TURCHIN
ORCID: 0009-0008-9452-0424
E-mail: siropcik@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Valentin GABERI
ORCID: 0009-0002-5123-9241
E-mail: gaberi_valentin@yahoo.com
Universitatea Tehnică a Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Eugeniu SPRÂNCEAN
ORCID: 0009-0003-2572-4291
E-mail: schitagro@gmail.com
SRL "Schit-Agromex", Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Based on the synthetic analysis of the "systems biologization" process through the perspective of the biophysical concept of chernozem pedogenesis, the basic biological factors responsible for the intensity of the production process and the procedures for their intensification were identified in order to increase the bioenergetic resources included in the natural-anthropic chernozem pedogenesis process.*

Taking into account the factors and procedures for their intensification, the basic technological elements of an agrobiocenotic technological model more suitable for chernozem spaces were developed.

Keywords: *biologization, biological fertility factors, biological, physical, chemical correction, production process.*

INTRODUCERE

Conceptul determinismului genetic al fertilității cernoziomurilor în regim agricol presupune regenerarea unidirecționată a proceselor tipogenetice cernoziomice prin intensificarea procesului producțional agricol în cadrul unor tehnologii bazate pe managementul durabil a factorilor biologici de fertilitate în sistemul „sol-plantă" și se materializează în Legea unității solului și plantei [1]. În acest context fertilitatea solului este determinată de sensul și intensitatea proceselor de modelare a materiei abiotice (substratul mineral) de către factorul biologic (planta și lumea vie asociată acesteia). Principiile de bază ale conceptului determinismului genetic al fertilității solurilor, în special al cernoziomurilor asigură cadrul conceptual-teoretic al procedeului „biologizarea agroecosistemelor" [1].

MATERIALE ȘI METODE

Biologizarea agroecosistemelor este un proces gestionat de cultivare a plantelor de cultură și de sporire a fertilității solurilor în cadrul unor condiții agroecologice concrete bazat pe interacțiunile interdeterminate și interdependente în sistemul „sol-plantă".

În acest context în cadrul actualelor sisteme agricole accentele sunt plasate pe managementul resurselor bioenergetice și asigurarea unui cadru fizic (biohidrotermic și bioaerohidric) mai favorabil pentru realizarea potențialului pedoregenerativ al acestora prin practicarea sistemelor „conservative" de lucrare a solurilor.

În același timp, însă, cercetările mai recente au arătat că principiile tehnologice ale acestora (reducerea sau chiar excluderea lucrării solurilor; acoperirea permanent a suprafeței solului cu vegetație; rotația culturilor) în formularea FAO asigura restabilirea doar parțială a funcționalității sistemului pedofuncțional [sistem bioenergetic]↔[sistem agregatic] responsabil de funcțiile eco/agroecosistemice de bază, inclusiv reziliența climatică și capacitatea de adaptare la schimbările climatice [2; 3; 4].

Aceasta a implicat opinia mai multor autori că pentru restabilirea procesului pedogenetic cernoziomic este necesară transferarea terenurilor din arabil în pârloagă [5; 6; 7], deşi se recunoaşte că acest transfer pe suprafețe mari, practic, este imposibil [4].

În dezvoltarea componentei tehnologice a FAO în prezentele cercetări sunt formulate principiile de bază ale tehnologiilor pedoregenerative prin intensificarea procesului producţional în cadrul agroecosistemelor prin biologizarea acestora şi optimizarea ambianţei fizice funcţionale în cadrul unor tehnologii agrobiocenotice.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Cadrul conceptul-aplicativ de biologizare a sistemelor agricole practicate este asigurat de conceptul biofizic al procesului de pedogeneză cernoziomică materializat în formarea cernoziomurilor ca sistem biorutinar cu cel mai înalt grad de integrare a materiei abiotice şi celei biotice [3], legităţile de funcţionare a acestuia [8], şi conceptul funcţional-ecologic al ecosistemului şi locul solului în calitatea lui de sistem (pedocenoză) în componenţa acestuia [9].

În acest sens în cadrul prezentelor cercetări s-a stabilit că ,,biologizarea sistemelor agricole" prin intensificarea procesului producţional este cel mai accesibil model de regenerare a procesului pedogenetic cernoziomic accentele fiind plasate pe gestionarea interdependentă şi interdeterminată a mai multor factori biologici interacţionaţi în cadrul ecosistemului solului (Tab. 1).

Tabelul 1. Factorii biologici de bază în sistemele agricole şi procedee de intensificare

Factor biologici	Procedee de intensificare a factorilor biologici
Sporirea cantităţii de biomasă produsă în cadrul agroecosistemelor şi încadrată în circuitul biologic	Sporirea coeficientului de utilizare a resurselor bio și pedoclimatice, cultivarea soiurilor de plante de cultură cu tulpină înaltă. Cultivarea culturilor intercalate. Încorporarea tuturor formelor de producție vegetală secundară produsă în circuitul biologic.Utilizarea substanţelor fiziologic active de origine humică.
Optimizarea cantităţii şi calităţii biomasei vegetale încadrate în pedogeneză.	Sporirea cantităţii şi calităţii biomasei încadrată în circuitul biologic prin îmbogăţirea cu biomasă verde.
Optimizarea calităţii materiei organice, proaspete prin tratări antipatogene.	Preparate EM şi preparate organice de origine humică îmbogăţite cu microorganisme eficiente.
Optimizarea proceselor biologice în sol şi evitarea stărilor de stres a factorilor biologici prin asigurarea unui cadru funcţional optimal.	Optimizarea regimurilor biohidrotermic şi bioaerohidric şi asigurarea unui cadru funcţional optimal pentru realizarea proceselor în sistemul sol-plantă a fertilităţii şi sănătăţii solurilor prin adaptarea lucrărilor solului la condițiile de landşaft şi minimizarea acestora.

Asigurarea azotului biologic necesar pentru producerea procesului de humificare şi funcţionarea optimală a sistemului „sol-plantă”.	Sporirea ponderii culturilor leguminoase în structura culturilor; cultivarea speciilor de plante cu capacitate mare de fixare a azotului intensificarea proceselor nesimbiotice şi asociative de fixare a azotului cultivarea de leguminoase la îngrăşăminte verzi. Culturi leguminoase intercalate. Tratarea seminţelor, solului şi culturilor (3-4 ori pe parcursul vegetației cu preparate de alge cianofite fixatoare de azot).
Starea allelopatică a ambianţei interne a solului.	Alternarea culturilor. Formarea unui strat humusoactiv care reduce acumularea toxinelor în stratul de însămânţare şi în rizosferă. Utilizarea efectelor allelopatice. Practicarea de metode biologice de protecţie a plantelor.
Activizarea proceselor de mobilizare a fosforului în sol.	Asigurarea de valori optimale ale stării de aşezare a solurilor care favorizează sporirea activităţii fosfatazei. Administrarea periodică a preparatelor care contribuie mobilizării rezervelor inactive de fosfor din sol. Îngrăşăminte bacteriene. Cultivarea hrișcăi.
Descompunerea mineralelor cu potasiu.	Fitoameliorare.

În acest context conceptul intensificării procesului producţional presupune asigurarea unui cadru antropo-natural de sustenabilizare a factorilor biologici responsabili de reproducerea lărgită a funcţiilor eco/agroecosistemice încadrate în pedogeneză, intensificarea şi sporirea volumului circuitului carbonului organic şi a circuitelor elementelor chimice organogene aferente acestuia materializate în sporirea rezilienţei climatice a agroecosistemelor şi capacităţii de adaptare la condiţiile climatice.

Unul din elementele cheie în cadrul managementului factorilor biologici specificaţi este identificarea punctelor de tangenţă a unor factori în parte care limitează procesul producţional. Prin această prismă de idei inputurile asupra procesului producţional trebuie să fie multilaterale orientate pe mobilizarea ameliorativă a unui număr maximal de factor limitativi. În acest sens gestionarea procesului producţional presupune măsuri de corecţie interacţionată interdeterminată şi interdependentă nu doar a factorilor biologici dar şi a celor fizici, şi chimici, care determină funcţionarea sistemului ecologic „sol-plantă”.

Corecţia fizică presupune un sistem de măsuri în scopul asigurării şi menţinerii în sol a unei ambianţe biohidrotermice şi bioaerohidrice optimală pentru funcţionarea sistemului sol-fitocenoză-zoocenoză-microbiom-plantă-sol (Fig. 1).

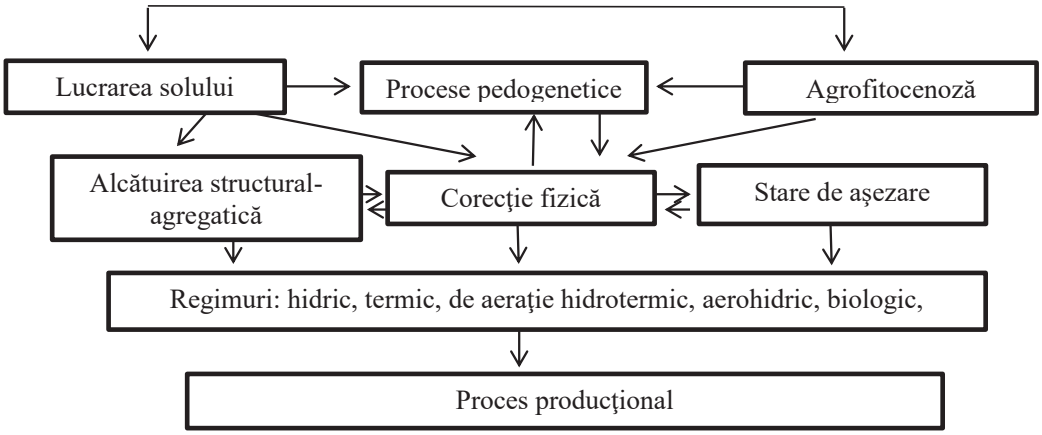


Figura 1. Mecanisme de corecţie fizică a procesului producţional al agroecosistemelor

Prin această prismă de idei corecţia fizică a procesului producţional este cel mai important element tehnologic care determină sensul şi intensitatea proceselor biopedogenetice şi presupune adaptarea, în mod obligatoriu a sistemului de lucrare şi structurii culturilor cultivate la condiţiile concrete de landşaft.

Corecţia chimică presupune asigurarea unui cadru funcţional de autoreproducere şi autoreglare a regimului şi dinamici conţinutului de fitonutrienţi organo-minerali, organici, minerali (Fig. 2).

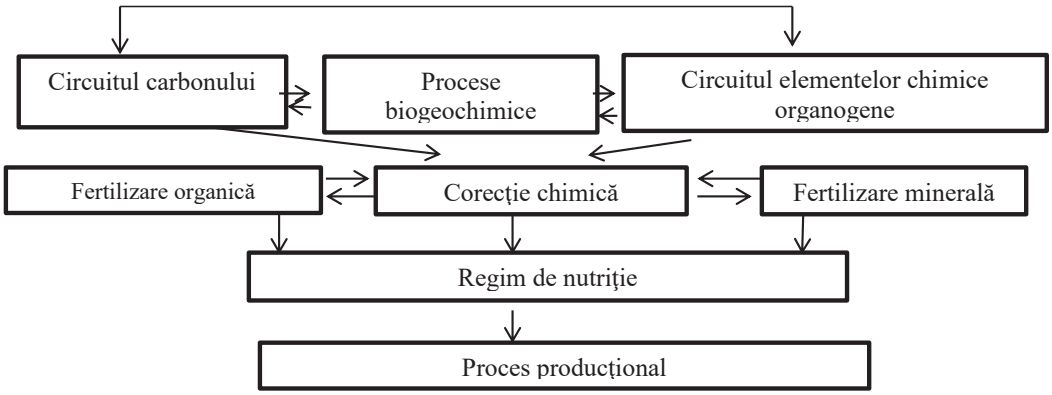


Figura 2. Mecanisme de corecţie chimică a procesului producţional al agroecosistemelor

Un loc aparte în cadrul managementului sustenabil a procesului producţional revine gestionării factorilor biologici care presupune măsuri orientate pe dezvoltarea regenerativ direcţionată a interacţiunilor dintre biota solului, substanţele nutritive şi plante în scopul intensificării procesului de fotosinteză şi de producere a materiei organice şi

sporirii rezilienţei climatice a agroecosistemelor şi capacităţii de adaptare a acestora la schimbările climatice (Fig. 3).

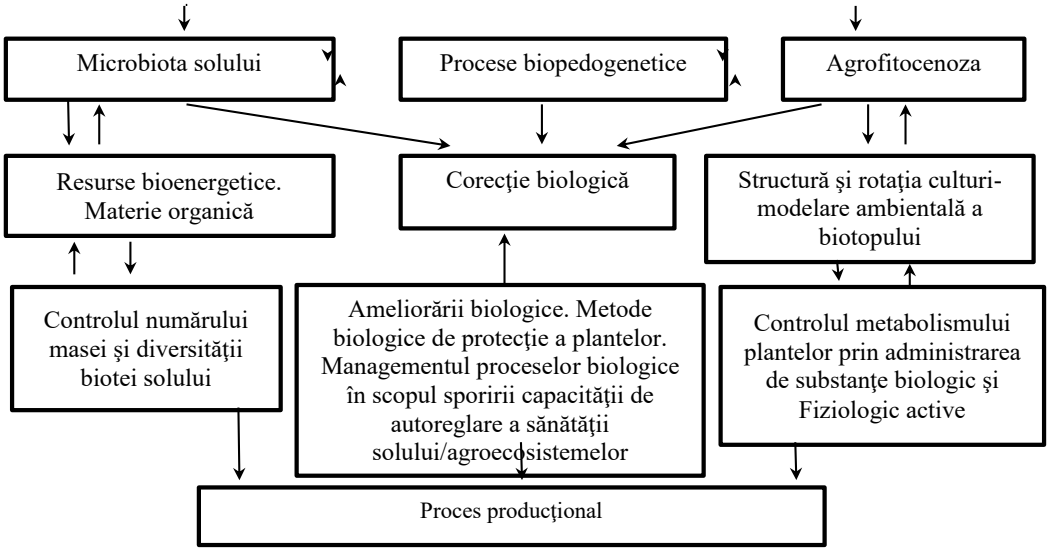


Figura 3. Mecanisme de corecţie biologică a procesului producţional al agroecosistemelor

În cadrul corecţiei biologice un loc aparte revine măsurilor de reglare a proceselor care se realizează în sistemul sol-plantă prin practicarea preparatelor complexe bioorganiminerale de origine humică avantajul acestora faţă de alte substanţe biologic şi fiziologic active fiind favorizat de compatibilitatea asociaţiilor de microorganisme conţinute în acestea cu asociaţiile prezente în solurile cernoziomice.

Prin prisma mecanismelor propuse intensificarea procesului producţional şi de regenerare a pedogenezei cernoziomice în regim agricol presupune managementul interacţionat interdependent şi interdeterminat a factorilor fizici, biologici şi chimici responsabili de funcţionarea sistemului ecologic „sol-plantă”.

Realizarea Obiectivelor propuse presupune practicarea unor modele de tehnologii agrobiocenotice pedoregenerative elemente de bază a cărora sunt:

1. Adaptarea tuturor componentelor sistemului agricol: la condiţiile concrete de landşaft. Lucrarea solului la adâncimi care nu vor depăşi adâncimea de încorporare a seminţelor sau excluderea acestora.

2. Managementul raţional al miriştei şi resturilor vegetale în calitate de sursă bioenergetică şi mulci. Păstrarea la suprafaţa solului a 60-65% din miriște şi nu mai puţin de 30% de resturi vegetale. Practicarea ogorului sidereal. Cultivarea culturilor fitoameliorative de acoperire sau celor intercalate.

3. Restabilirea sistemului organic al solului şi funcţionalităţii acestuia, şi asigurarea unui trend pozitiv al bilanţului humusului.

4. Monitorizarea regimului de nutriţie a solului la sfârşitul vegetaţiei, conformarea

cantităţilor de îngrăşăminte la necesităţile solului şi administrarea diferenţiată a acestora, cu luarea în calcul atât a conţinutului de humus în sol cât şi a celui de detrit humifer.

5. Asigurarea surselor de azot biologic pentru funcţionarea microbiomului solului şi realizarea procesului de humificare,prin utilizarea produselor bioorgano-minerale de origine humică şi administrarea preparatelor algali.

6. Rotaţia rădăcinilor şi favorizarea proceselor de afânare biologică a solului. Practicarea afânării mecanice doar în cazuri excepţionale. Sustenabilizarea mecanismelor radicular şi coprolitic de autoafânare şi agresare-structurare a masei solurilor.

7. Cultivarea de soiuri şi hibrizi adaptabile la sistemul de lucrare practicat minitill cu mulci: a) Sistemul minim de afânare a solului doar în rând cu mulci fără lucrarea spaţiului dintre rânduri (Strip-till); b) Semănatul direct (No-till).

CONCLUZII

Prin prisma conceptului biofizic al pedogenezei cel mai acceptabil procedeu de reproducere lărgită a resurselor bioenergetice necesare pentru regenerarea procesului cernoziomic în regim arabil este intensificarea procesului producţional al agroecosistemelor prin managementul sustenabil al tuturor factorilor (fizici, chimici, biologici) responsabili de fertilitatea solurilor în cadrul unor modele agrobiocenotice de tehnologii agricole pedoregenerative.

REFERINȚE:

1. ЖИГЭУ Г. Основные законы биологизации земледелия. Lider Agro. 2020. No. 3. с. 14-17.
2. JIGĂU Gh., STADNIC A., CIOLACU T., TURCHIN B. Tehnologiile agricole pedoconservative: abordare pedofuncţională. // Geneza, evoluţia şi încadrarea taxonomică a solurilor din depresiunile intramontane din România, Iaşi, 2022, p. 74-87.
3. JIGĂU GH., DOBROJAN S., DOBROJAN G., TURCHIN B., CHIRIŢA E., DRUŢA A., GABERI V., BOLOCAN N. Sănătatea solului şi criterii de evaluare prin prisma conceptului biofizic al pedogenezei. In: Studia Universitatis Moldaviae (Seria Ştiinţe Reale şi ale Naturii), 2023, nr. 1(171), p. 164-172. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/185820
4. ШАРКОВ И. Н., АНТИПИНА П. В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв. Почвы и окружающая среда. Том 5 № 2, 2022 с. 1-9. DOI: https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.175
5. МАМОНТОВ В.Г., АРТЕМЬЕВА З.С., ЛАЗАРЕВ В.И., РОДИОНОВА Л.П., КРЫЛОВ В.А. АХМЕТЗЯНОВА Р. Р. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020 (101), с. 182-201. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201

6. БУЛЫШЕВА А. М., ХОХЛОВА О. С., БАКУПОВВИЧ Н. О., РУСАКОВ А.В., МЯКШИНА Т.Н., РЮМИН А. Г. Изменение карбонатного состоянияи черноземов Приазовья при переходе их из пашни в залежь. Почвоведение, 2020, № 8. с. 1025-1038. ISSN 0032-180X.
7. КУРГАНОВА И. Н., ЛОПЕС ДЕ ГЕРЕНЮ В. О., СМОЛЕНЦЕВА Е. Н., СЕМЕНОВА М. П., ЛИЧКО В. И., СМОЛЕНЦЕВ Б. А. Влияние типа землепользования на физические свойства черноземов лесостепной зоны Западной Сибири. Почвоведение, 2021, № 9, с. 1061-1075.
8. СМАГИН А. В. Структурно-функциональная организация почв как динамических биокосных систем: дис. доктор биологических наук. Москва, 2004. 44 с.
9. Третья парадигма почвоведения. Ресурсосберегающее земледелиею Специализированныи селискохозяиственыи журнал 2020. No. 45, с. 45-46.

N.B. *articolul este realizat în cadrul proiectului „Eficientizarea tehnologiei de utilizare a producţiei vegetale secundare în calitate de fertilizant prin aplicarea preparatelor algale, cianobacteriene şi bioorganominerale”, cu cifrul 24.80015.7007.03PI, şi „Biotehnologie complexă de management a rezilienţei climatice a agrofitocenozelor vulnerabile la schimbările climatice”, cu cifrul 24.80015.7007.04VI.*

MODEL GEOLOGIC CONCEPTUAL: DEPOZIT SUBTERAN PENTRU ÎNMAGAZINAREA GAZELOR NATURALE (REPUBLICA MOLDOVA)

CONCEPTUAL GEOLOGICAL MODEL: UNDERGROUND STORAGE FOR NATURAL GAS (REPUBLIC OF MOLDOVA)

CZU: 622.691.24(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.76**

Constantin MORARU
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: cmoraru@yahoo.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Anastasia GROZA
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: atimoshencova@gmail.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Liubov VĂTĂMANU
ORCID: 0009-0001-1088-3236
E-mail: liubaturcan18@gmail.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Tatiana SICACIOVA
ORCID: 0009-0002-2929-8675
E-mail: sicaciovatatiana@gmail.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maria TITOVEȚ
ORCID: 0009-0008-7976-9405
E-mail: titovetmaria@gmail.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena MATVEEVA
ORCID: 0009-0007-0073-6113
E-mail: elenamatveeva196124@gmail.com
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *In this paper, the principles of creating a conceptual model for 3D modeling of the geological structure and hydrogeological conditions of the location of underground gas deposits in the territory of the Republic of Moldova were elucidated. The geological structure, stratigraphy, tectonics, hydrogeology and geochemistry of underground waters were analyzed in detail. The properties of rocks as a natural gas collector were also analyzed. The obtained data will be used for 3D modeling of locations for underground natural gas storage.*
Keywords: *conceptual model, underground gas deposits, Moldova.*

INTRODUCERE

Institutul de Geologie și Seismologie al Universității de Stat din Moldova a început deja studii geologice pentru a fundamenta amplasarea depozitelor subterane de stocare a gazelor. Motivația acestor investigații are ca bază faptul, că Republica Moldova nu deține zăcăminte semnificative de petrol și gaze și este dependentă în totalitate de importul acestor resurse. Problema gazelor naturale este deosebit de stringentă. Țara are nevoie urgentă de depozite subterane de stocare a gazelor, care ar servi drept regulator al aprovizionării cu gaze în situații de vârf și în cazuri speciale. Argumentarea științifică a localizării depozitelor subterane de stocare a gazelor este primul pas pentru această problemă. Printre sarcinile prioritare se numără construirea unui model geologic și hidrogeologic tridimensional (3D) [7, 8], cel mai probabil bazat pe pachetul software Petrel [1], a locației depozitelor subterane de gaze. Construcția unui model 3D începe cu crearea unui model conceptual al mediului geologic și hidrogeologic. Starea și conținutul modelului conceptual determină în întregime calitatea modelului 3D [2, 3, 4]. În acest sens, scopul acestei lucrări este un studiu cuprinzător al structurii geologice, condițiilor hidrogeologice, caracteristicilor geotermale și geochimice pentru a crea un model conceptual.

MATERIALE ȘI METODE

Obiectul studiului este partea central-vestică a Moldovei, lângă or. Ungheni, în cadrul căreia a fost alocată o suprafață de 625 km^2, la granița cu România la vest. În această zonă au fost identificate structuri geologice și hidrogeologice potențial potrivite pentru crearea de depozitelor subterane de stocare a gazelor. Acest teritoriu, cu interes pentru zăcăminte petrol și gaze încă din a.1940, a fost acoperit în diferiți ani de diverse studii geologice, hidrogeologice (scara 1:200.000 și 1:50.000) și geofizice de diferite scări (gravimetrice, magnetice, electrice și seismice), precum și, în diferiți ani, au fost forate aproximativ 100 de sonde de explorare și producție de diferite adâncimi și 9 sonde

cu adâncimea > 1000 m. Gradul de studiu geologic al zonei studiate este înalt și poate fi calificat drept detaliat. Materialul propriu-zis pentru cercetare au fost datele studiilor geologice și geofizice din diferiți ani, numeroase secțiuni geologo - hidrogeologice, hărți, materiale primare ale forajelor de prospecțiune, explorare și producție, date de analiză geochimică, diagrame de carotaj de sonde, inclusiv date geotermale. De asemenea, sau folosit multe date geologice, geochimice și hidrogeologice a investigațiilor pentru prospecțiunea apelor subterane și îndeosebi celor minerale. Structura modelului conceptual este bazată pe arhitectura de modelare a softului Petrel [1], cartografierea datelor sa efectuat cu Surfer [9] și procesarea statistică a datelor efectuată cu SPSS [11].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Procesul de creare a model conceptual include următoarele: o analiză amănunțită a condițiilor tectonice, structurii geologice și hidrogeologice; analiza principiilor de identificare a straturilor și a caracteristicilor lor litologice; determinarea structurii cadrului geologic 3D; identificarea corpurilor geologice potrivite pentru stocarea subterană a gazelor și analiza materialului propriu-zis pentru modelul 3D.

Din compartimentul de tectonică, prezintă interes doar partea de falii. Nu au fost găsite falii tectonice active în zona de studiu. Absența faliilor a fost estimată prin liniile axiale ale anomaliilor de heliu, gravitație și magnetism, conform datelor de foraj și faliilor stabilite prin metode geomorfologice [5]. Analiza datelor chimice ale apelor subterane nu relevă, de asemenea, nicio valoare hidrogeochimică anormală, la fel ca în cazul compoziției gazelor [6].

În structura geologică, se disting clar rocile fundamentului cristalin Precambrian. Deasupra acestor formațiuni se află depozite din vârstele pre Siluriene, Siluriene, Cretacice, Paleogene și Neogene. Din punct de vedere stratigrafic, rocile de fundament sunt reprezentate de granite și granit-gnaise, cristaline grosier, granulare, puternic metamorfozate, de culoare roz-roșiatică, gri deschis și gri-albicioasă. Aceste roci au fost deschise numai la grosimea de aproximativ 16,0 m. Formațiunile proterozoice (?) sunt reprezentate de șisturi micacee filitice și straturi intermediare de conglomerate, care sunt cimentate de material cuarțos fin. Grosimea acestor depozite variază de la 17,0 la 35,0 m. Rocile cambriene, reprezentate în principal de un strat de siltită-gresie, cu o grosime de 45,0 m până la 72,0 m, suprapun în mod neconform șisturile filitice. Deasupra acestui strat, cu un contact litologic, se află un strat gros (164,0 – 188,0 m) de roci siltitice pestrițe din Cambrianul inferior – Ordovicianul (?). În plus, pe aceste roci, cu o neconformitate stratigrafică, se află un strat gros (aproximativ 350,0 m) de carbonați silurieni. Suprafața de eroziune a Silurianului este acoperită de roci din Cretacicul superior, care sunt reprezentate de conglomerate bazale și gresii cu o grosime de 45,0 – 87,0 m. Pe suprafața erodată a depozitelor din Cretacicul superior cu neconformitate stratigrafică se află formațiuni cenozoice – sedimente paleogene și neogene. Grosimea acestor formațiuni variază de la 350,0 la 370,0 m, care sunt reprezentate (de jos în sus) de calcare cu faună, argile marnoase, argile calcaroase, argile nisipoase și nisipuri fin granulare.

Cadrul viitorului model 3D ar trebui să includă 6 straturi geologice, și anume fundamentul, Cambrianul, Cambrianul – Ordovicianul (?), Silurianul, Cretacicul și Neogenul. În studii ulterioare, cadrul poate fi detaliat, în special în intervalul Cambrian-Silurian, unde sunt amplasate structuri pentru depozite subterane de stocare a gazelor, selectate de noi pe baza caracteristicilor geologice și hidrogeologice (anticlinale, porozitate crescută a rocilor, absența faliilor etc.). Au fost identificate trei structuri sub formă de anticlinale, care pot fi studiate în detaliu ca rezervoare pentru instalații subterane de stocare a gazelor (Fig. 1). Reprezentarea structurilor anticlinale în coordonate 3D a fost realizată utilizând pachetul software Surfer [9].

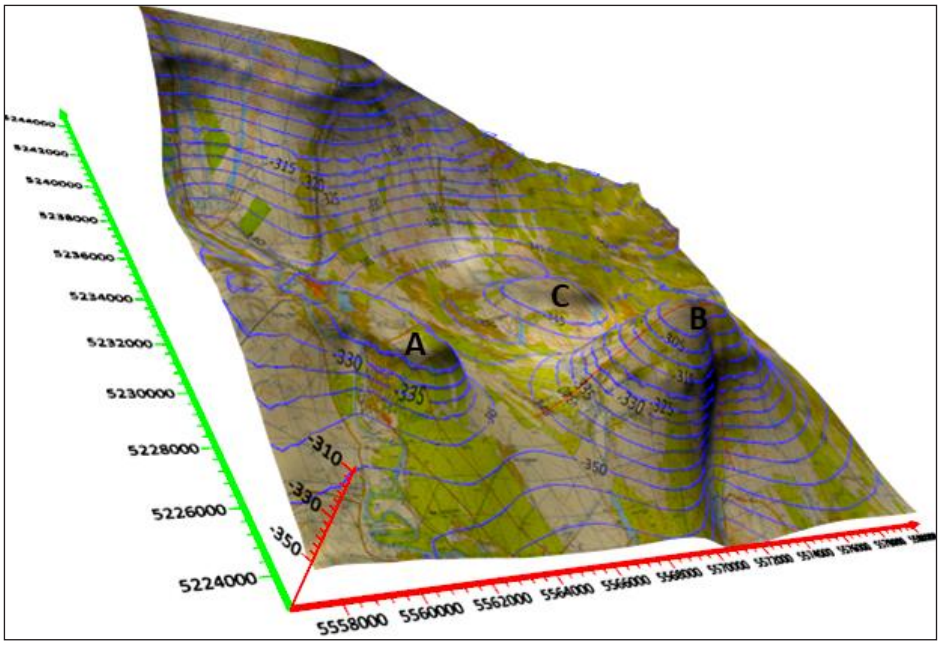


Figura 1. Structuri anticlinale (A, B și C – indici ai structurilor; albastru – contururi de adâncime în m față de cota absolută topografică)

Structura (A) este un zăcământ gazifer (Berești) de dimensiuni reduse, care a fost exploatat parțial în perioada 1959-1964. A doua (B) și a treia (C) structură au fost identificate de noi pe baza datelor geologice și hidrogeologice.

Toate formațiunile geologice conțin ape subterane, care sunt limitate la acviferele din Sarmațian superior, Sarmațian mediu, Sarmațian inferior, Tortonian și Cretacic și la complexele acvifere din Silurian, Cambrian și Precambrian. Acviferele posedă presiune hidraulică (fig.2) și apa subterană conține săruri (fig.3). În acvifere sunt depistate concentrații industriale de I, B, Br, He.

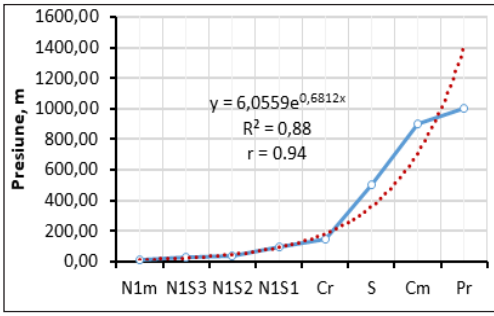


Figura 2. Dependența presiune hidraulică-acvifer *apa – acvifer*
(albastru-reală, roșie – statistică)

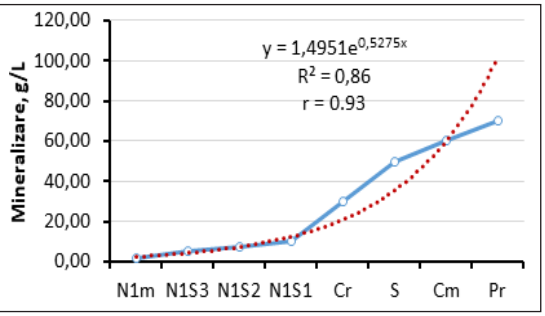


Figura 3. *Dependența mineralizare*
(albastru-reală, roșie – statistică)

Debitul sondelor este variabil cu valori maximum până la 200 m^3/oră. Temperatura rocilor și a apelor subterane, de asemenea este variabilă cu valori până la 50 ^{0}C în Cambrian. În baza datelor hidrodinamice și hidrogeochimice sa constatat, ca mișcarea apelor subterane în complexe acvifere Cambrian și Precambrian este mică (practic câțiva cm/an). Această constatare este importantă pentru stocarea gazelor naturale.

Proprietățile de colector pentru gaze a rocilor din Silurian și Cambrian sunt variabile: permeabilitate 2.144 – 254.00 mD cu kerosen și porozitate 16.11 – 19.47 % (Edelștein, 1963). Un indicator al permeabilității rocilor este și debitul sondelor, cu ar fi în complexele acvifere ale Silurianului și Cambrianului, care atinge cca 172 m^3/zi. Așa productivitate a sondelor se datorează numai prezenței zonelor cu permiabilitate mare a rocilor.

Volumul structurilor anticlinale este convingător și considerabil pentru crearea depozitelor de gaze subterane. În prealabil, cu referință la fig.1, structura B - are axa mică 5 km, axa mare 14 km și suprafața cca 70 km^2. Ținând cont, că înălțimea anticlinalei este aproximativ 50 m (0.05 km) volumul ei va constitui cca 3.5 km^3 sau 3.5 x 10^9 m^3 pentru condiții fizico-chimice normale și fără a ține cont de date permeabilității reale. De asemenea, cantitatea stocată de gaze naturale în acest volum va fi cu mult mai mare, datorită înmagazinării gazelor sub presiune (legea lui Boyle-Mariotte).

CONCLUZII

Ca urmare a studiilor, a fost creată baza fundamentală a modelului conceptual pentru modelarea geologică tridimensională ulterioară a depozitelor subterane de stocare a gazelor. Astfel, pentru zona studiată, au fost analizate condițiile tectonice, structura geologică și hidrogeologică, principiile de identificare a straturilor și caracteristicile litologice ale acestora, structura cadrului geologic 3D și structurile geologice care vor fi studiate ca rezervoare pentru instalațiile subterane de stocare a gazelor. În procesul de modelare 3D, multe elemente geologice și hidrogeologice vor fi cu siguranță clarificate și adăugate, dar baza modelului conceptual va rămâne semnificativă.

REFERINȚE:

1. Геологическое и структурное моделирование в Petrel с методами автоматизации процессов обновления модели. Schlumberger Information Solutions, 2008, 266 с.
2. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. М.: ООО ИПЦ Маска, 2009, 376 с.
3. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D моделей. М.: ООО ИПЦ Маска, 2008, 210 с.
4. Закревский К.Е. Практикум по геологическому 3D моделированию. Построение тестовой модели в Petrel 2009. М., 2010, 110 с. ISBN 978-5-98422-099-6.
5. Морару К.Е. Тектонические особенности и макросейсмическое поле юго-западной части Русской платформы. В: Российский сейсмологический журнал, 2020, Т.2, № 2, с. 48- 57. DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.04
6. Шинкарюк В.Г. Артезианские воды Молдавии и их использование в народном хозяйстве: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: / В.Г. Шинкарюк – Л., 1987. - 16
7. Liu L., Li T., Ma C. Research on 3D Geological Modeling Method Based on Deep Neural Networks for Drilling Data. Appl. Sci. 2024, 14, 423. https://doi.org/ 10.3390/app14010423
8. Abigail K. Burt, Phillip Sirles and Alan Keith Turner. Data Sources for Building Geological Models. Applied Multidimensional Geological Modeling: Informing Sustainable Human Interactions with the Shallow Subsurface, First Edition. Edited by Alan Keith Turner, Holger Kessler, and Michiel J. van der Meulen. John Wiley & Sons Ltd., 50 p.
9. SURFER, ver. 11.6.1159 (64-bit). https://www.goldensoftware.com/
10. *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 22)*. <www.ibm.com/us-en/marketplace/spss-statistics> (as 22.11.2017).

N.B. *Acest studiu a fost realizat cu sprijinul financiar al Programului de Stat de Cercetare al Republicii Moldova, cod 010902 al Universității de Stat din Moldova, cu tema "Studii complexe geologo - hidrogeologice și geochimice privind amenajarea depozitelor pentru înmagazinarea subterană a gazelor naturale în partea de Centru-vest a Republicii Moldova (teorie, metodologie și fezabilitate)", 2024-2027".*

CERNOZIOMUL DIN STEPA BĂLȚILOR CU TITLUL DE SOL AL ANULUI 2024, STAREA LUI ACTUALĂ ȘI METODE DE REABILITARE

THE CHERNOZOIM OF THE BALTILOR STEPPE WITH THE TITLE OF SOIL OF THE YEAR 2024, ITS CURRENT STATUS AND REHABILITATION METHODS

CZU: 631.445.4(212.6:478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.77**

Tatiana NAGACEVSCHI
ORCID:0000-0002-4785
E-mail: tatiana.nagacevschi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Stela CURCUBET
ORCID: 0000-0002-9921-2139
E-mail: stela.curcubet@usm.md
Institutul de Ecologie şi Geografie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *At the World Congress of Soil Science Societies, held on May 19–20, 2024, in Florence, it was proposed that the typical chernozem of the Bălți Steppe be awarded the title of "Soil of the Year 2024." To study the current state of the chernozem of the Bălți Steppe, the consequences of anthropogenic impact following its use in agriculture, and the probability of its return to initial fertility, investigations were conducted on typical chernozem located on the territory of the Field Crops Research Institute "Selection" in the municipality of Bălți. Several variants were studied: under different crops and with the use of chemical and organic fertilizers. The results were compared with those from nearby chernozem that has been under observation for more than 35 years.In conclusion, we can say that no matter how carefully chernozem is used in agriculture, soil destructuring and compaction occur. However, after 35 years of being left in a state of fallow, it begins to return to its initial condition.*

Keywords: *chernozem, compaction, degradation, fertility, properties, structure, fallow*

INTRODUCERE

Cernoziomul este cea mai valoroasă resursă naturală a Republicii Moldova. Acest tip de sol a fost creat de natură în decurs de multe milenii, a acumulat semnificative rezerve de energie conservată în humus (circa 1 miliard de tone), dispune de multiple caractere favorabile și potențial înalt de fertilitate, menționat pentru prima dată pe harta schematică a solurilor, alcătuită de Andrei Grossul-Tolstoi, în anul 1856, apoi pe prima hartă a solurilor, alcătuită de Vasili Dokuceaev și colaboratorii săi, bazată pe principiile

pedologiei genetice, în anul 1900, fiind considerate soluri *tipic-cernoziomice de prima clasă* [1].

Pedogeneza cernoziomurilor se produce în condiţiile naturale caracteristice pentru zonele de stepă şi silvostepă. Plantele ierboase dezvoltă sisteme radiculare foarte ramificate, care pătrund adânc în sol şi subsol. Anual la suprafaţa şi în profilul solului se formează cantităţi considerabile de substanţă organică. Spre deosebire de alte soluri, are o capacitate enormă de rezistență, proceselor de degradare. Fiind valorificat, utilizat, lucrat și exploatat în decurs de secole, cernoziomul, în mare măsură, și-a păstrat proprietățile favorabile. Însă, cu regret, constatăm că această resursă de neprețuit nu este gestionată și utilizată corect și eficient, fiind supusă diferitor procese de degradare.

Recent, pe 19 și 20 mai 2024, la Florența, Italia, a avut loc Congresul Mondial al Societăților Științei Solurilor, consacrat celor 100 de ani de la fondarea prestigioasei organizații. La Congres au participat 85 de țări ale lumii, reprezentate prin 1500 delegați. Republica Moldova a fost reprezentată la Congres de membru-corespondent al AȘM, doctorul habilitat Boris Boincean. La acest forum mondial s-a propus ca cernoziomul tipic din Stepa Bălților să primească titlul de Sol al Anului 2024. Ulterior, președintele Societății Mondiale a Științei Solului, prof. Edoardo Constantini, a menționat, la Ședința de finalizare a lucrărilor Congresului, dedicată decernării, celebrării și înmânării distincției „Cernoziomul Tipic din Stepa Bălților – Solul Anului 2024. (fig. 1) Conservarea solurilor este imperativă pentru menținerea productivității agriculturii și diminuarea impactului negativ al activității umane asupra mediului ambiant.



Figura 1.

Factorii antropici, procesele tehnogenetice transformă evident parametrii de calitate ai cernoziomului. Continuă degradarea fizică. Evidenţierea însuşirilor fizice ale solului şi a proceselor din sol, în special a structurii, care influenţează direct şi indirect viaţa plantelor, alcătuind un ansamblu funcţional unitar, numit complexul ecologic al solului. Evidenţierea schimbărilor negative a structurii solului şi factorii care influenţează aceste

schimbări prezintă un interes deosebit. Prelucrarea sistematică a solurilor în decurs de câteva secole s-a soldat cu distrugerea structurii naturale grăunţoase, tasarea şi dehumificarea – reducerea conţinutului de humus în stratul arabil. Din an în an s-au redus rezervele de elemente nutritive, fiind sistematic extrase din sol şi exportate cu recoltele culturilor agricole. Învelişul de sol a fost supus diferitor transformări tehnologice, care au modificat nu numai conţinutul dar şi construcţia verticală a solurilor. Această bogăție principală a țării necesită o atitudine părintească, o utilizare chibzuită și o protejare eficientă.

MATERIALE ȘI METODE

Cercetările s-au efectuat în Câmpia Moldovei de Nord pe teritoriul Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecţia”, din municipiul Bălți, ce posedă de mulţi ani loturi experimentale de teren pe cernoziom tipic. În luna iunie 2024 au fost colectate probe și efectuat un monolit din profilul cernoziomului tipic luto - argilos înierbat mai mult de 35 ani, (fig. 2,3.). Cercetările efectuate pe teren şi în condiţiile de laborator au avut drept scop studierea trăsăturilor fizice ale solului pe diferite variantelor de utilizare agricolă:

- naturală (fără îngrăşăminte, martor);
- minerală (NPK 75,130, 75 kg s.a./ha suprafaţă de asolament, grâu;
- organo-minerală (NPK 75, 130, 175 kg s.a./ha şi gunoi de grajd 10 şi 15 t/ha suprafaţă de asolament, porumb.



Figura 2. Cernoziom tipic luto - argilos înțelenit, 2024



Figura 3. Monolit, cernoziom tipic luto - argilos înțelenit, 2024

În probele recoltate s-a determinat: higroscopicitatea; textura; alcătuirea structurală- cernere uscată şi umedă pentru stratul arabil şi subiacent; densitatea; conţinutul humusului; pH-ul.

REZULTATE ŞI DISCUŢII

Lucrarea conține cercetări în domeniul actualelor probleme teoretice și practice a influenței tehnicii agricole, activității antropice asupra proprietăților chimice și fizice ale solurilor arabile. E cert faptul că pentru o creștere și dezvoltare normală a plantelor de cultură este necesară prezența obligatorie a unui întreg șir de factori, dintre care o importanță deosebită o au însușirile chimice și fizice ale solului.

Cernoziomul tipic luto - argilos din Stepa Bălților, nefiind deranjat mai mult de 35 de ani, demonstrează calități fizico-chimice excepționale, dar oferă și dovezi incontestabile ale proceselor de degradare în agricultura industrializată. Actualmente, este oportun faptul salvării cernoziomului tipic, prin reconstruirea și protejarea lui, asigurând natura sa esențială prin conservare.

Solul cercetat se caracterizează cu un conținut optim de humus, valorile acestuia deviind de la 3,00% - 3,58% la solul agricol, până la 4,16% -5,37% la solul înțelenit. Reacția solului corespunzător se încadrează intre valorile 7,00 – 7,30 și 7,00-7,09 în stratul 0-34cm.(tab.1)

Tabelul 1. Însuşirile chimice ale cernoziomului tipic luto argilos

Adâncimea, cm, variantele	Humusul, %	pH
Grâu 0-4	**3,29**	**7,30**
10-14	**3,19**	**7,25**
20-24	**3,58**	**7,22**
30-34	**3,26**	**7,10**
Porumb 0-4	**3,19**	**7,03**
10-14	**3,15**	**7,15**
20-24	**3,00**	**7,14**
30-34	**3,00**	**7,25**
Martor 0-4	**3,25**	**7,00**
10-14	**3,25**	**7,01**
20-24	**3,18**	**7,02**
30-34	**3,14**	**7,18**
Sol înțelenit 0-4	**5,37**	**7,00**
10-14	**5,03**	**7.04**
20-24	**4,50**	**7,05**
30-34	**4,16**	**7.09**

Structura solului reprezintă una dintre caracteristicele esenţiale cu influenţe directe asupra tuturor proceselor fizice, mecanice şi biologice ce au loc în sol. Solurile cu structură agronomic valoroase, spre deosebire de cele nestructurate sau cu structură deteriorată, asigură plantelor condiţii optime de creştere şi dezvoltare. Din această cauză fertilitatea solului este strâns legată de starea lui structurală. Structura solului se caracterizează prin doi parametri de bază: alcătuirea structurală (repartiţia după mărime a elementelor structurale) şi hidrostabilitatea structurală (proporţia elementelor structurale stabile la acţiunea apei) [2]. Structura solului este supusă degradării, cauzele căreia este în primul rând dehumificarea dar şi de natură mecanică, fizico-chimică şi biologică.

Cernoziomul studiat tipic moderat humifer luto - argilos se caracterizează cu o stare structural-agregatică bună, în componenţa structurii ponderea majoră revenind agregatelor agronomic valoroase (după Kacinschi agregatele cuprinse între 10-0.25mm,agregatele care asigură în soluri regimuri optimale de realizare a funcțiilor solului, inclusiv cele bioproductive). În cazul martorului conţinutul lor alcătuiește 76-79 %, la solul cercetat sub grâu: 70-84 %, sub porumb conținutul agregatelor agronomic valoroase deviază în intervalele 62-77%. Totuși de cea mai buna stare structurală dispune solul înţelenit: 93-97%. În ceea ce priveşte conţinutul macroagregatelor (agregatele >10 mm, ce reprezintă bulgorozitatea) la solurile aflate sub experiență parametrii în stratul arabil variază între 18-25%, atunci în cel subarabil 23-36%, cu maximul la porumb, ce se lămureşte prin destructurarea şi compactitatea acestuia, pe când la cel înţelenit este minim de 1-6%. Suma agregatelor hidrostabile (agregatele <0.25mm) de asemenea pe solurile sub experiență în comparaţie cu martorul în stratul 0-10 cm diferenţa este de 10%, iar în stratul de 10-20, 20 -30 cm la solul cercetat sub porumb se observă o scădere de 5-7% faţă de a solului de sub grâu și a martorului (tab. 2, fig.4). Unul dintre cele mai importante criterii de evaluare agronomică a structurii este stabilitatea hidrica a agregatelor. Cercetările efectuate [3] au arătat, că stratul arabil a cernoziomului are o așezare stabilă, dacă conține nu mai puțin de 40 – 45 % agregate hidrostabile cu diametrul mai mare de 0,25mm, în caz contrar solul este supus ușor tasării și duce la înrăutățirea însușirilor fizice, mai ales a permiabilității pentru apă și aer. Aceasta poate servi drept punct de bază pentru argumentarea și fundamentarea teoretică a diferitor metode de lucrare a solului care în practică să asigure păstrarea hidrostabilității agregatelor >0,25mm la un nivel de 40 – 45 %, dar şi cu un indice de structurare corespunzător..

Deşi conţinutul acestor agregate în cazul variantelor agricole este satisfăcătoare, să nu uităm de parametrii bulgorozității (agregatele >10mm), ce reprezită pseudoagregate, care rămân integre la cernerea umedă. Realitatea calităţii structurii este dovedită real de indicii de structurare (Ks).

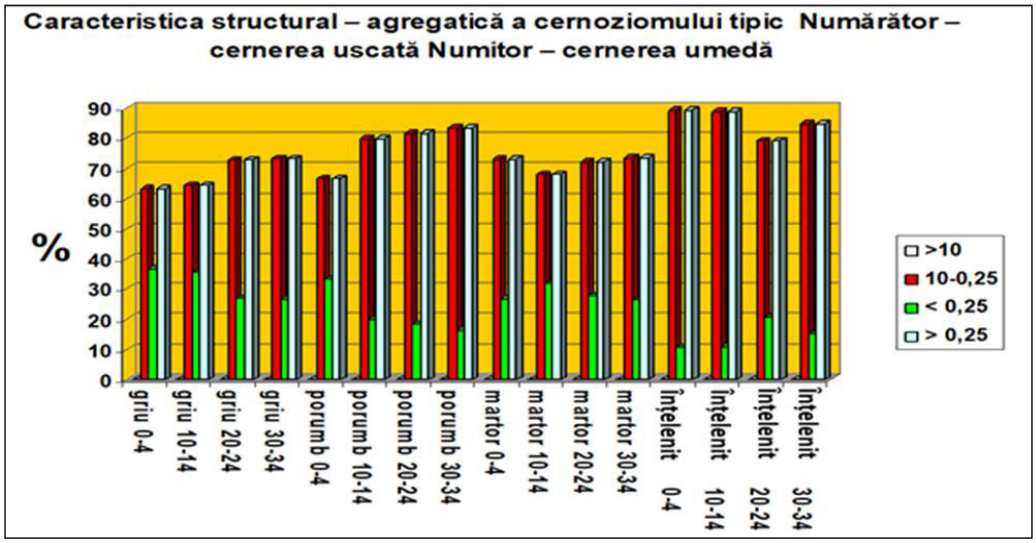


Figura 4.

Valorile lui variază în stratul arabil între 3,56-5,02 la varianta cu grâu, grație sistemului radicular ce ajută la structurare, 5,13-2,53 la porumb grație utilizării îngrășămintelor organice, la martor 3,34-3,74 şi cu totul alte valori în stratul subrabil la grâu- 2 37, la porumb 1,65 şi 3,34 la martor. Despre revenirea la fertilitatea naturală a cernoziomului înțelenit vorbesc parametrii Ks care au valori de 17,86-33,48 în stratul 0-40cm. (tab. 2)

Tabelul 2. Caracteristica structural – agregatică a cernoziomului tipicmoderat humifer luto argilos
Numărător – cernerea uscată
Numitor – cernerea umedă

Adâncimea, cm	Conținutul fracțiunilor în%, diametrul agregatelor, mm				
	>10	10-0,25	< 0,25	> 0,25	K_s
Grâu 0-4	18,00	80.81 63.34	1.19 36.66	98.81 63.34	4.21
10-14	21,00	78.10 64.38	0.90 35.62	99.1 64.38	3.56
20-24	15,30	83.40 72.93	1.30 27.07	98.7 72.93	5.02
30-34	28,50	70.40 73.28	1.10 26.82	98.9 73.28	2.37
Porumb 0-4	10,30	77.70 66.72	2.00 33.28	98.0 66.72	5.13

10-14	**25.60**	**71.70** **79.94**	**2.70** **20.06**	**97.3** **79.94**	**2.53**
20-24	**25,50**	**73.10** **81.68**	**1.40** **18.32**	**98.6** **81.68**	**2.71**
30-34	**36.00**	**62.30** **83.45**	**1.70** **16.45**	**98.3** **83.45**	**1.65**
Martor **0-4**	**19,50**	**77.30** **73.20**	**3.20** **26.80**	**96.80** **73.20**	**3.40**
10-14	**20,10**	**78.90** **68.08**	**1.00** **31.92**	**99.00** **68.08**	**3.74**
20-24	**21,50**	**77.00** **72.21**	**1.50** **27.79**	**98.5** **72.21**	**3.34**
30-34	**23,30**	**76.00** **73.51**	**0.70** **26.49**	**99.30** **73.51**	**3.16**
Înțelenit **0-4**	**1,10**	**95.77** **89.30**	**3.13** **10.70**	**96.87** **89.30**	**22.64**
10-14	**5,80**	**93.10** **88.93**	**1.10** **11.07**	**98.90** **88.93**	**17.47**
20-24	**4,30**	**94.70** **85.21**	**1.00** **14.79**	**99.00** **85.21**	**17.86**
30-34	**2.00**	**97.10** **84.77**	**0.90** **15.23**	**99.10** **84.77**	**33.48**

Densitatea aparentă este unul din principalii indicatori ai stării de aşezare a solului şi totodată unul din factorii determinanţi principali ai multora din celelalte însuşiri fizice ale solului. Densitatea aparentă mare nu înseamnă nimic altceva decît scăderea capacităţii de reţinere a apei, a permeabilităţii, a aerului.

Rezultatele obţinute arată că pe ansamblu solul câmpului experimental, se caracterizează cu valori mici (0,98 – 1,02 g/cm³) şi mijlocii (1,06 – 1,10 g/cm³). (fig. 5)

Creșterea valorilor densităţii aparente are loc mai ales la adâncimea de 20-30 cm, lucru care arată compactarea solului, la baza lucrărilor superficiale de pregătire a patului germinativ, semănat şi întreţinere a culturilor ca efect a degradării structurii şi ca urmare a scăderii hidrostabilităţii structurale, solul devenind mai vulnerabil la compactare. Totuşi, în cazul solului cercetat, cu un bun echilibru de fertilizare şi respectare de tehnologii, valorile densităţii aparente încă nu indică o tendinţă stabilă de compactare. Aceasta implică concluzia că anual la începutul vegetaţiei în sol se instaurează valorile echilibrate ale densităţii aparente ca urmare a autoafânării. Realizarea procesului de autoafânare este favorizată de încorporarea periodică a materiei organice proaspete fie sub formă de resturi vegetale fie sub formă de îngrăşăminte verzi.

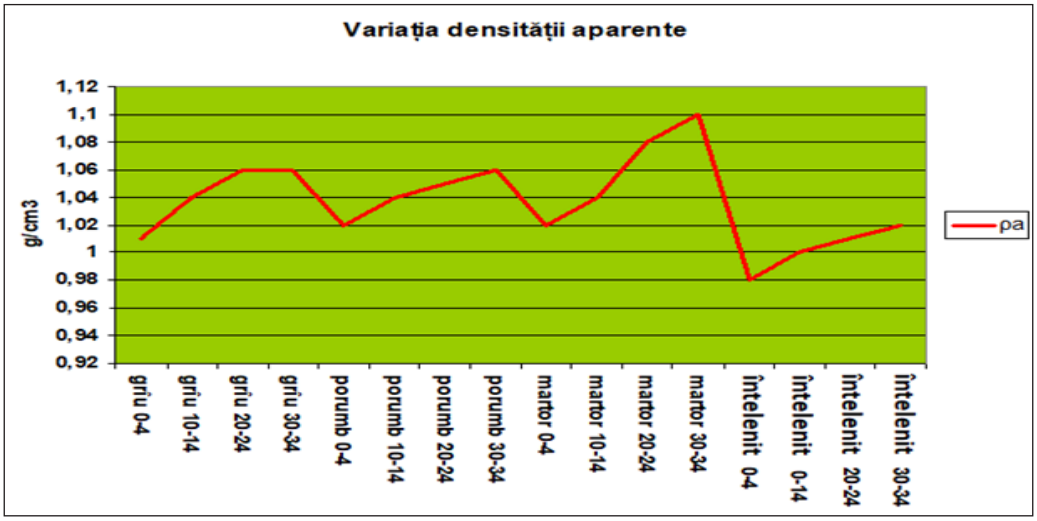


Figura 5.

CONCLUZII

Utilizarea cernoziomului tipic moderat humifer în agricultura convenţională conduce la dehumificare, destructurare şi compactare mai accentuată în stratul 20-30cm. subrabil.

Gradul de structurare a cernoziomului tipic moderat humifer arabil depinde în mare măsură de asolament şi tipul de fertilizare. Aplicarea gunoiului de grajd ca îngrăşământ organic în asolament are tendinţa de majorare a conținutului de humus și ponderii mezoagregatelor cât şi hidrostabilităţii lor.

Cernoziomul tipic moderat humifer înțelenit mai mult de 35 ani, revine la fertilitatea naturală.

REFERINȚE:

1. ДОКУЧАЕВ, В.В. К вопросу о почвах Бессарабии //Почоведение», nr.1, 1900, с. 1–22.
2. CANARACHE, A. Fizica solurilor agricole. Bucureşti: Ceres, 1990. p. 66.
3. КУЗНЕЦОВА, И.В., Влияние длительной обработки на сложение мощных чернозёмов// Теоретические вопросы обработки почв, - Ленинград: Гидрометеоиздат,1979, с.80-86.

INFLUENȚA ANTROPIZĂRII ASUPRA SOLULUI DIN ȘANȚURILE VALURILOR LUI TRAIAN DE JOS ȘI DE SUS DIN REPUBLICA MOLDOVA

THE INFLUENCE OF ANTHROPIZATION ON THE SOIL IN THE LOWER AND UPPER TRAJAN'S WALL TRENCHES OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 631.4:902.2(478-22) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.78**

Tatiana NAGACEVSCHI
ORCID:0000-0002-4785
E-mail: tatiana.nagacevschi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vitalie SOCHIRCĂ
ORCID: 0000-0003-3924-2253
E-mail: vitalie.sochirca@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Studies conducted in the trenches of Southern (or Lower) Trajan's Wall (in the Cahul district) and Upper Trajan's Wall (in the Cimişlia district), demonstrate that the soil represents a footprint that reflects history through its properties, creating a typical morphological profile for each type of soil, similar to the characteristic physical and chemical properties. In the case of the soil profiles of Upper and Lower Trajan's Walls, the anthropogenic footprint is reflected precisely through the paedogenetic regularities of the intact genetic soil profiles. The soil in the ditch and that in the vicinity of Trajan's Walls has the same origin according to the soil type and physical and chemical parameters, and the soil profiles in the ditch reflect the anthropogenic implication in a distant period of time. The depth of the Upper Trajan's Wall trench was about 400 cm, that of the Lower Trajan's Wall trench – 220-240 cm.*

Keywords: *Lower and Upper Trajan's wall, soil profile, trench, anthropization.*

INTRODUCERE

Studiul se referă la fortificațiile liniare – valuri de pământ – Valul lui Traian de Sus (VTS) și Valul lui Traian de Jos (VTJ) din limitele Republicii Moldova. *Valul lui Traian de Sus (de Nord)* constă dintr-un val construit din pământ și un șanț adiacent, în partea nordică, având o lungime de aproximativ 120 km și traversând întreg spațiul pruto-nistrean de la orașul Leova, riveran râului Prut, până lângă satul Copanca, riveran fluviului Nistru. În prezent, pe cea mai mare parte a lungimii sale, înălțimea valului VTS variază între 0,5 m și 2,5 m, lățimea totală a valului cu șanț ajungând până la 25 m. *Valul lui Traian de Jos (de Sud)*, cu lungimea de 126 km, se întinde de la satul Vadul lui Isac

(raionul Cahul) pe malul râului Prut, până la orașul Tatarbunar pe malul Lacului-liman Sasâc (Kunduk), pe teritoriul Ucrainei, regiunea Odesa [1].

MATERIALE ȘI METODE

Cercetările pedologice au fost efectuate concomitent cu cele arheologice la VTS pe segmentul satelor Ecaterinovca – Valea Perjei din raionul Cimișlia, într-un sector unde fortificația liniară este relativ bine păstrată, atât șanțul, cât și valul propriu-zis fiind observate clar la suprafața terenului. Secțiunea trasată a avut dimensiunile de 2×20 m, în limitele ei fiind cuprins șanțul fortificației și o parte a valului. Similar au fost efectuate cercetări la VTJ, pe segmentul satului Iujnoe (raionul Cahul). Au fost colectate probe de sol din 2 locații (partea centrală a șanțului valului și, pentru comparație, un profil natural integru din proximitate). Ulterior probele au fost supuse analizelor de laborator la facultatea de Biologie și Geoștiințe a USM pentru determinarea parametrilor fizici și chimici ai solului, prin următoarele ***metode***: humusul și carbonul organic ($C_{org.}$) – prin metoda I.V. Tiurin, cu modificarea de V.N. Simakov; carbonații – prin metoda gazovolumetrică; pH – cu pH-metru; componența granulometrică – prin metoda pipetei după N.A. Kacinskii; densitatea fazei solide – prin metoda Petinov [4].

Anterior, analize ale solului din VTJ au fost efectuate de I. Krupenikov, care datează construcția fortificației în prima jumătate a sec. I p. Chr. [2]. La aceeași fortificație au fost realizate studii paleopedologice de către A. Dzigovskiy și F. Lisetskiy, care datează valul cu prima jumătate a sec. II p. Chr. [3].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Evoluția contemporană se produce în solurile supuse diferitor procese sau fenomene tehnogenetice, care influențează în diferit mod construcția morfologică, componența substanțială, procesele pedogenetice și proprietățile solurilor, mai pregnant în stratul de 0-25 cm arabil și post-arabil de 25-35 cm, dar profilul genetic integru în adâncime se menține. Pedogeneza cernoziomurilor se produce în condițiile naturale caracteristice zonelor de stepă și de silvostepă. Plantele ierboase dezvoltă sisteme radiculare foarte ramificate, care pătrund adânc în sol și subsol, formând cantități considerabile de substanță organică la suprafața și în profilul solului.

Conform analizelor efectuate, a fost stabilit tipul de sol: cernoziom carbonatic luto-argilos la VTJ și cernoziom tipic slab humifer luto-argilos la VTS.

La profilurile ***VTJ*** orizonturile cernoziomului (A și B) sunt humifere, molice (fig. 1). În decurs de milenii în profilul vertical al cernoziomului s-au acumulat rezerve considerabile de humus. Formula profilului cernoziomului – *Am Bm Cca*, cu caracteristicile morfologice standard, este prezentă și în profilul integru. Parametrii densității fazei solide sunt de 2,60 gr/cm^3 în orizonturile superioare A și B (0-40 cm), majorându-se până la 2,68 gr/cm^3 în orizontul C (100-120 cm). Valorile densității fazei solide a solului corelează cu cele ale humusului: cu cât conținutul de humus este mai mare, cu atât para-

metrii fazei solide sunt mai mici. În cazul profilului natural integru, această legitate este bine evidențiată în orizonturile superioare şi pe profil în orizonturile subiacente (fig. 2). Valorile densității fazei solide și a conținutul de humus ilustrează un profil clasic, genetic integru.



Figura 1. Secțiune la VTJ, satul Iujnoe, raionul Cahul

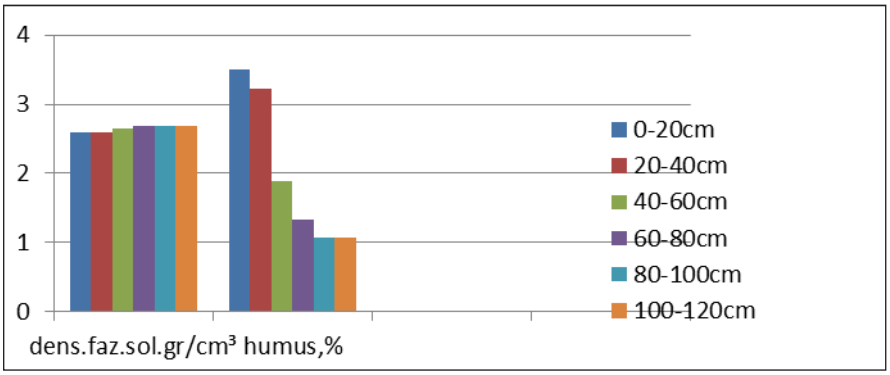


Figura 2. Densitatea fazei solide și conținutul de humus a profilului de sol integru, VTJ

În cazul solului din şanţ, legitatea profilului integru lipsește. Profilul este divizat în trei straturi: 0-100 cm, 200-300 cm şi 300-400 cm (fig. 3). Primul strat, practic a revenit la normalitatea pedogenezei genetice, al doilea și al treilea strat prezintă o inversare a

solului, care se poate lămuri prin faptul, că în timp, șanțul s-a umplut cu sol din val prin procesul de eroziune.

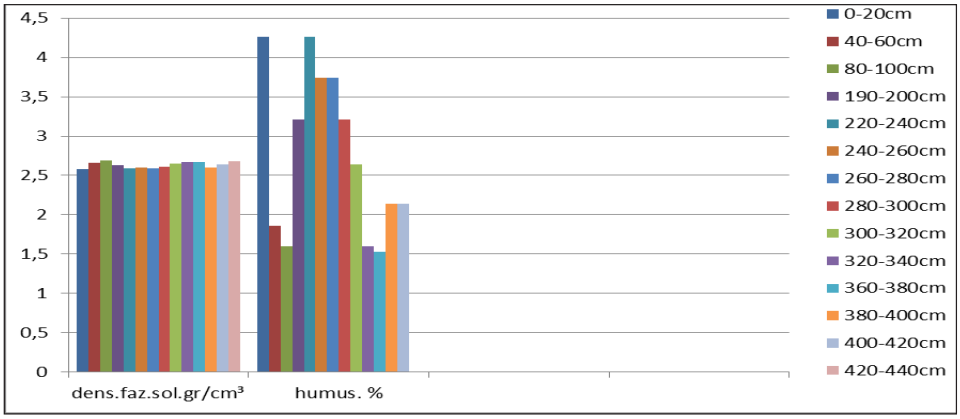


Figura 3. Densitatea fazei solide și conținutul de humus a profilului de sol din șanț, VTJ

Textura sau componența granulometrică a solului este rezultatul pedogenezei și funcție a componenței mineralogice a rocii parentale și, spre deosebire de componenta organică a solului, este constantă în timp. Textura profilului integru, similar parametrilor densității și conținutului de humus, prezintă o repartizare pe profil a fracțiunilor caracteristică pentru un profil integru luto-argilos. Conținutul de praf (cu dimensiunile de 0,05-0,001 mm) în stratul arabil de 0-20 cm are valori mai mari, datorită destructurării în urma utilizării agricole, fiind generate particulele de praf și argilă. În prima jumătate de metru (orizonturile A și B), conținutul fracțiunilor de praf și de argilă fină (< 0,001 mm) și de nisip (1-0,05 mm) sunt caracteristice straturilor arabile și subarabile, în adâncime acești parametri sunt stabili și uniform repartizați pe profil (fig. 4).

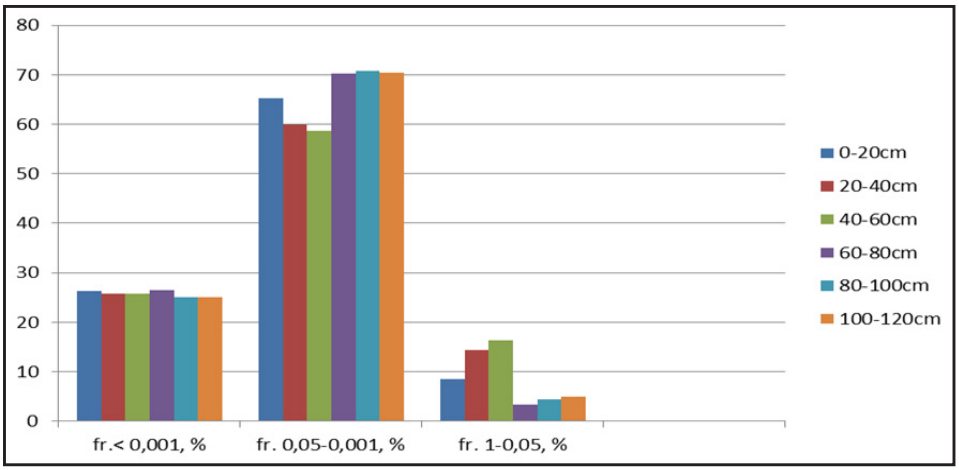


Figura 4. Componența granulometrică a profilului de sol integru, VTJ

Valorile componenței granulometrice a profilului din șanț nu au o consecutivitate similară profilului integru, dar se caracterizează ca luto-argilos și evidențiază 3 straturi: 0-100 cm, 200-300 cm şi 300-400 cm (fig. 5). Prima jumătate de metru practic a revenit la pedogeneza normală în timp (presupunem că în afară de eroziunea naturală de umplere a şanţului, în multe cazuri au avut loc şi nivelări de către om). Ca în cazul parametrilor densității fazei solide şi conţinutul de humus în stratul de 300-400 cm are valorile practic similare orizontului C, iar în cazul stratului de 200-300 cm este asemănător orizontului B al unui profil integru. În urma cercetărilor pedologice, putem afirma că adâncimea inițială a VTJ a fost în jur de 400 cm.

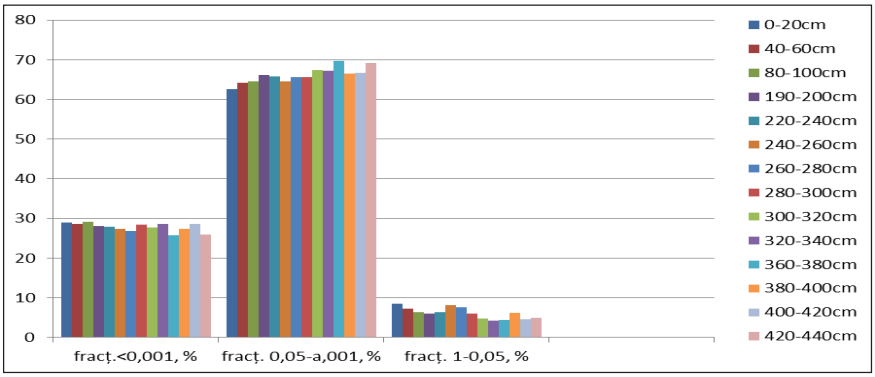


Figura 5. Componența granulometrică a profilului de sol din șanț, VTJ

Cercetările pedologice efectuate la profilurile ***VTS*** (integru şi din şanţ), ce prezintă un cernoziom tipic slab humifer luto-argilos, demonstrează influenţa activităţii antropice asupra solului din şanţ. Profilul de sol natural, alcătuit din orizonturi genetice, are parametrii unui profil de sol integru după repartizarea pe profil a humusului: 4-3% în prima jumătate de metru şi circa 1% în adâncime în partea de jos a orizontului B, până la 0,20% în orizontul C (roca de solificare) (fig. 6). Densitatea fazei solide, de asemenea, este caracteristică profilului morfologic integru: 2,53 gr/cm^3 în orizontul A arabil de 0-20 cm (unde şi conţinutul de humus este de 4%), 2,64 gr/cm^3 în orizontul B şi 2,67 gr/cm^3 în orizontul C.

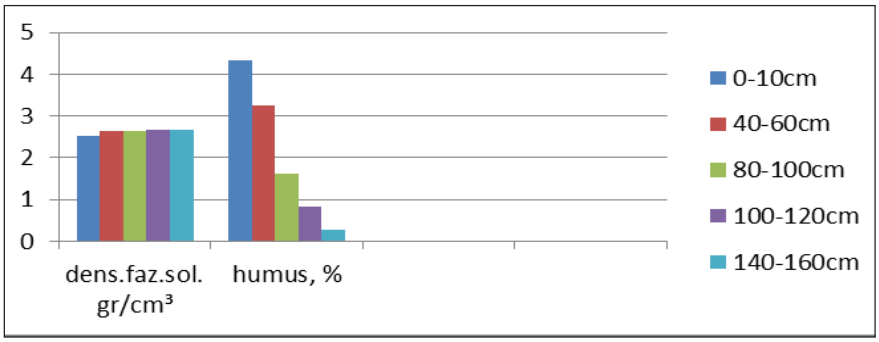


Figura 6. Densitatea fazei solide și conținutul de humus a profilului de sol integru, VTS

Asemănător cu VTJ, rezultatele cercetărilor pedologice ale profilului de sol din șanțul VTS reflectă delimitarea a trei segmente: 0-60 cm, 80-220 cm și 220-260 cm (fig. 7). Conținutul înalt de humus, care are parametrii de 5% în prima jumătate de metru, poate fi explicat prin prezența stratului superior înierbat. Interes deosebit prezintă stratul de 80-220 cm, cu un conținut de humus de 4,6%, care corelează cu valorile densității fazei solide (fig. 8).



Figura 7. Secțiune la VTS, sectorul satelor Ecaterinovca – Valea Perjei, raionul Cimișlia

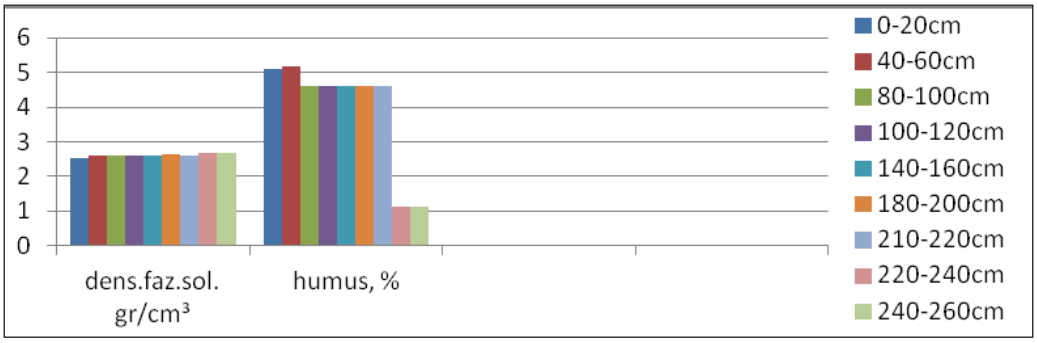


Figura 8. Densitatea fazei solide și conținutul de humus a profilului de sol din șanț, VTS

După componența granulometrică ambele profiluri ale VTS se caracterizează ca cernoziomuri tipice slab humifere luto-argiloase. În profilul integru conținutul de praf și argilă din stratul arabil și subarabil demonstrează influența antropică, ca rezultat al

utilizării cernoziomului în agricultură (fig. 9). Conţinutul de praf în stratul de 0-20 cm şi cel de argilă la adâncimea de 40-60 cm reflectă destructurarea stratului arabil şi compactarea celui subarabil. Orizonturile subiacente B şi C au componenţa granulometrică caracteristică unui profil de cernoziom tipic slab humifer luto-argilos.

Textura solului din şanţ, similar celei a profilului integru, caracterizează solul ca luto-argilos. Repartizarea fracțiunilor de argilă, praf şi nisip pe profil, prezintă 3 segmente: 0-60 cm, 80-220 cm şi 220-260 cm (fig. 10). Primul strat, se deosebește la adâncimea de 0-20 cm, datorită înțelenirii. Stratul de 80-200 cm este similar profilului integru, dar în urma inversării este puţin amestecat. Cu toate acestea se observă o limită a coincidenței granulometrice până la adâncimea de 220-240 cm, care probabil este adâncimea şanţului.

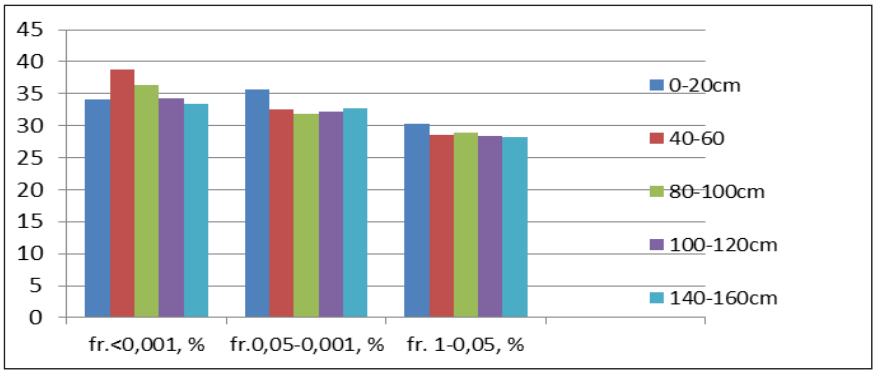


Figura 9. Componența granulometrică a profilului de sol integru, VTS.

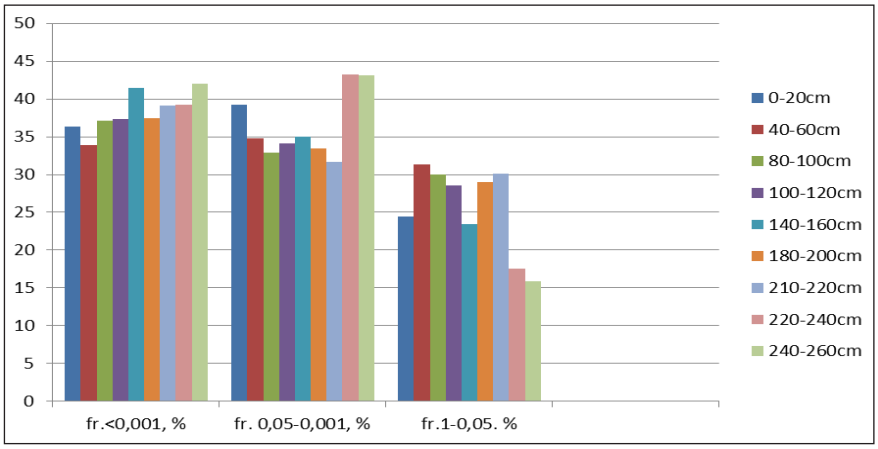


Figura 10. Componența granulometrică a profilului de sol din şanţ, VTS

CONCLUZII

Solul din şanţ şi cel din proximitatea Valurilor lui Traian de Sus și de Jos are aceeași origine după tipul de sol, iar profilurile solului din șanț reflectă implicația antropică în-

tr-o perioadă îndepărtată de timp. Constatăm că adâncimea șanțului VTJ a fost de 400 cm, iar a VTS – de 220-240 cm. Studiul demonstrează că omul poate contribui la schimbarea „feței" solului, adică a profilului de sol, dar nu poate modifica originea și stopa procesele pedogenetice.

REFERINȚE:

1. MATVEEV, S., VORNIC, V., Valurile lui Traian din Basarabia: surse scrise, cercetări arheologice și interdisciplinare // In: Descoperiri vechi și abordări noi în arheologia epocii fierului din spațiul tiso-nistrean (Ed. A. Zanoci, M. Băț), - Chișinău, 2022, p. 283-305 // https://www.researchgate.net/publication/367207061_Valurile_lui_Traian_din_Basarabia_surse_scrise_cercetari_arheologice_si_interdisciplinare.
2. КРУПЕНИКОВ, И.А. Погребенные почвы Нижнего Траянова вала и некоторые вопросы палеопочвоведения // Охрана природы Молдавии. - Кишинев, 1960. - Вып. 1. - с. 55-69.
3. ДЗИГОВСКИЙ, А.Н., ЛИСЕЦКИЙ, Ф.Н. Педохронологические аспекты датировки Нижнего Траянова вала // Археология и этнология Восточной Европы: Материалы и исследования, - Одесса, 1987, с. 229-238.
4. JIGĂU, Gh., NAGACEVSCHI, T. Ghid al disciplinei Fizica Solului, - Chişinău: CEP USM, 2006, 77 p.

N.B. *Articol elaborat în cadrul Centrului de Arheologie „Ion Niculiță", Universitatea de Stat din Moldova, Subprogramul 01.15.01 „Patrimoniul arheologic preistoric și antic din regiunea de silvostepă a Republicii Moldova: cercetare interdisciplinară și valorificare științifică".*

PRACTISING ENVIRONMENTAL RITUALS IN INTERGENERATIONAL BENGAL KNOWLEDGE SYSTEM: COMMUNITY RESILIENCE, ECOLOGICAL STEWARDSHIP, AND ADAPTIVE MODEL OF INCLUSIVE FUTURES

PRACTICAREA RITUALURILOR DE MEDIU ÎN SISTEMUL DE CUNOAȘTERE INTERGENERAȚIONAL DIN BENGALA: REZILIENȚA COMUNITĂȚII, GESTIONAREA ECOLOGICĂ ȘI MODELUL ADAPTIV AL VIITORULUI INCLUZIV

CZU: 23:502.1(540.33) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.79**

Tapas PAL
ORCID: 0000-0001-6278-0418
E-mail: geo.drtapaspal.in@gmail.com
Raiganj University, India

Dorin LOZOVANU
ORCID: 0000-0003-0999-8041
E-mail: dorinlozovanu@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Acest studiu examinează practica ritualurilor ecologice în cadrul sistemelor de cunoaștere intergeneraționale din Bengal, evidențiind rolul lor în reziliența comunității, menținerea ecologică și imaginarea unui viitor adaptiv și incluziv. Înrădăcinate într-un amestec de tradiții agricole, cosmologie populară și respect spiritual pentru natură, aceste ritualuri, de la festivalurile recoltei și cultul râurilor, până la sfințirea copacilor și ritualurile sezoniere, funcționează nu doar ca expresii culturale, ci și ca practici ecologice intrinseci. Transmise de-a lungul generațiilor prin tradiție orală, participare comunitară și învățare întrupată, aceste ritualuri promovează relații durabile cu ecosistemele locale, în special în zonele vulnerabile precum Sundarbans, Câmpia Gangetică și zonele tribale din Bengalul de Vest. Prin analiza calitativă și implicarea la nivel comunitar, studiul a constatat că aceste practici contribuie la conservarea biodiversității, adaptarea la schimbările climatice și gestionarea resurselor, în special în perioadele de stres socio-ecologic. Cu toate acestea, erodarea cunoștințelor tradiționale din cauza urbanizării, neglijării politicilor și comodificării culturale amenință continuitatea lor. Această lucrare pledează pentru recunoașterea acestor practici drept cadre socio-ecologice adaptive, capabile să informeze dezvoltarea incluzivă, educația de mediu și intervențiile politice care sunt în concordanță cu contextele locale și experiențele trăite.*

Cuvinte-cheie: *Participare comunitară, Adaptare la schimbările climatice, Dezvoltare incluzivă, Ecosisteme locale, Tradiție orală.*

INTRODUCTION

This study explores the practice of environmental rituals within intergenerational Bengal Knowledge Systems (BKS), highlighting their role in fostering Bengal community resilience**,** ecological stewardship [1], and adaptive models for inclusive healthy futures. Rituals such as *Manasa Puja*, *Sondhey dewa*, and *Kantha* embroidery embed ecological values through intergenerational transmission, community participation, and stewardship of local biodiversity [2]. The research underlines the significance of indigenous ecological knowledge for managing resources sustainably and fostering resilience among Bengal communities in a swiftly shifting earth [3]. Recently, natural and climate change has been found. The durability problem has been raised in recent times [4], and therefore alternative environmental management has become more important. In the West Bengal, there are several environmental practices that have been nutrition since the days of civilization. Now we need a durable way to protect nature. There are many worshipers in religion that have direct and indirect connection with behavior [5], and when these conducts protect nature, they are called environmental rituals. Environmental philosophy has evolved through environmental behavior. Various environmental materials are used to maintain rituals [6]. A reverse image was found in men and women, rural and urban in maintaining environmental conduct [7]. Water-based worship, tribal conduct, agriculture-ritual and religion-based conducts are all discussed here with examples. Attacks of modern culture and globalization in the rituals of West Bengal raised questions the durability of the environment [8] because historical rituals protect nature.

MATERIALS AND METHODS

This research is a mixed approach [9] to field research [10] and document research [11]. The researcher used monitoring techniques to get information about the environmental ritual of West Bengal and observed [12] natural material and standard items used during worship as part of the ritual. The researcher used photography techniques [13] to collect pictures of environmental rituals. In order to find out the effects of urban mind rituals, the relationship with indigenous rituals, various agricultural rituals and even river-based environmental rituals, the researcher visited 44 different villages in 13 different districts (Birbhum, East Bardhaman, North Dinajpur, South Dinajpur, Jalpaiguri, Cooch Behar, Bankura, Nadia, Purulia, Alipurduar, North 24 Parganas and South 24 Parganas), total selected rituals were 50 of West Bengal. The researcher has applied descriptive statistics [14] to analyze the results obtained from the study. Independent sample t-test formula [15] has been used to find the relationship between ritual-event and environmental durability. QGIS software [16] has been used to create map. The researcher collected navigation information from articles based on strict observations of various online sources, books (ritual-forms, religions and rural West Bengal), websites, journals and literary reviews [17] of different work.

Table 1. Environmental rituals of West Bengal [18].

Rituals	Sample Villages/Towns	Districts
Baha Parab	Jorkadanga	Birbhum
Sarhul	Boner Pukur Danga	
Sorhai Parab	Ghosaldanga& Bishnubati	
Nuakhai	Santiniketan	
Brahmyadaitya	Naguri	
Holi	Santiniketan	
Kankalitala temple	Kankalitala	
Pous Sankranti	Aushgram	Purba Bardhaman
Nabanna	Bhedia	
Kali (Jhupo Maa/Vijaya Kali/Brikshakali)	Katoa	
Surangakali worshipping	Teghori, Boroandulia	Nadia
Gachibuna	Hatia	Uttar Dinajpur
Amati	Hatia	
Kheti Lakshmi/ Bhumi Laxmi	Khoksa	
Paakhi Pakhali ritual	Bhattadighi	
Pirbaba Mazar	Raiganj	
Chhat Puja	Kaliaganj	
Tulsi Puja	Raiganj	
Vaisakhi Ritual	Maheshbathna	
Durga Puja and Kala-bou	Durgapur	
Vasant Panchami/Saraswati Puja & Kulgacha	Ranipur	
Hanuman Jayanti	Islampur	
Salhesh	Gaishal	
Manasa Puja and Nag Panchami	Kaliyaganj	
Pirbaba than	Raiganj	
Annakut ritual	Siliguri	
Sraddha	Raiganj	
Merriage Ceremony	Bogram	
Jamai Sasti	Buniyadpur	Dakshin Dinajpur
Maha Shiva Ratri	Gangarampur	
Shitala Puja	Balupara-Hili	
Nabanna	Tapan	
Aaitabarey Puja of Limbu tribe	Ramjibasti	Darjeeling
Death ritual of Magar tribe	Lebong	
Nayapo Puja ofMagar tribe	Khasmal Ghum	
Chula Dunga of Rai community	Ramji Basti	
Sansari Puja, Aaitabarey Puja, Nayapo Puja	Ramji Basti	

Asar Pandra of Newar tribe	Gurubatha	Kalimpong
Kamana Sagar & Baruni	Thakurnagar	N. 24 Parganas
Banabibi, Dakshina Rai, Purbasha	Gosaba	S. 24 Parganas
Ritual of Sundari and Garan Tree Plantation	Chargheri	
Vastu Puja (fig.12)	Gangasagar	
Lakshmi Puja	Cooch Behar	Cooch Behar
Karam	Balarampur	Purulia
Tusu Parab	Deulghata-Arrha	
Bandna Parab	Ban Ashuria	Bankura
Borkonia Parab	Fetapur-Hirbandh	
Bat-PakurTree Worshiping	Jayanti, Rajabhatkhawa More	Alipurduar
Jalpeswar utsav & ritual	Uttar Bhuskadanga	Jalpaiguri

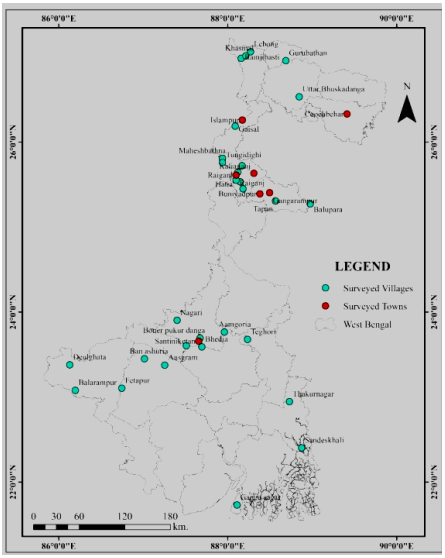


Fig.1. Location of practicing environmental rituals in West Bengal [19]

RESULTS AND DISCUSSIONS

Rituals teach our ancestors about traditional forms or habits and how we can form our own culture [20]. The community can be formed with different types of groups. They can be formed physically or virtually. The culture of the community can be formed between people, ethnic groups, society and civilization [21]. The cultures of this community are related to different types of cultures [22]. The elements of culture are various industries, garment, food, cuisine, literature, performing arts, visual arts, entertainment, games, sports, war sports, humanitarian, celebration, etc. Natural resources, trees, plants, animals and even insects are being protected for ritual practice [23].

For protecting nature, environmental rituals are important. Religion-based rituals, agricultural-based rituals-forms, river-based rituals and tribal rituals-forms are related to the *Panchaghth* [24], so this research is reasonable for sustainable development at this stage. According to SDG 3 (*Health and Well-being*), this study is very logical for welfare, nature and environment. According to SDG 13 (*Climate Action*) and SDG 15 (*Life in the land*) [25], rituals can protect biological diversity and climate. Environmental crisis, forest odor, climate turbulence and disasters have increased very frequently in our environment[26]. Flood, tsunami, dam broken, habitat lost, global warming, greenhouse effects and river pollution all cause environmental degradation [27].

Now the United Nations is demanding solutions from the global table. Again we need to look at our traditional environmental rituals, which is beneficial for our environment [28]. Research spacing has also been found using various types of religion, rivers, agriculture and tribal rituals to develop environmental resilience philosophy. The rituals connected to religion [29], tribal culture [30], agro-festivals [31], and rivers [32] have importance in environmental conservation. For example *Nabanna* (conserving of different types of fruits with ritual and getting of new harvesting materials), *Vaisakhi* (in this festival, people are habituated to show their adoration of nature and also to their environment for protecting and nurturing the nature of all types of foods), *Bat Briksha Puja* (fig.4) (conservation of valuable banyan tree and increasing of sense of human beings about to nature), *Maha Shiva Ratri* (through this ritual animals like bull, snake and natural ingredients like bell fruits, *bael* leaves, *dhutura* flowers and fruits are conserved and protected), *Durga puja* (fig.5) and *Kala-bou* (different types of animals like peacock, lion, rat, owl, buffalo, duck and different types of fruits and flowers especially banana tree are conserved and protected as parts of respect and love for worshiping) [33], *Vasant Panchami* / *Saraswati puja Kulgacha* (special flowers like *Palash* and lotus are conserved through this ritual), *Hanuman Jayanti* (learning and respect comes from this rituals to the wild animals like monkey from this ritual), *Shitala puja* (the *neem* tree and the animal like donkey are conserved as the part of ritual for the biodiversity), *tulsitala* (fig.3) (pouring of water and showing of adoration to *tulsitala* as a n essential part of every house of Hindu ritual through which the *basil* tree is conserved [34] and worshiped as also as disinfectant of germs and different types of germs and bacteria's), *Manasa puja and Nag Panchami* (fig.7) (snake & *fanimanasa* plant conservation is done through this ritual), the *Chhath puja* (fig.8) (conservation of different types of fruits trees and water resources), *Salhesh* festival (conservation and protection of horses is done through this ritual for biodiversity), *Makar Sankranti* (*Pous Parban / Pous Sankranti/ Aauri-Bauri/ Tushu*) (different types of agricultural productions are being protected through this rituals like paddy, turmeric, sugarcane. etc.), *Nuakhai* (fig.10) (to maintain their respect and love to newly starting of agricultural production), *Banabibi, Dakshina Rai, Purbasha, Shah Jangoli puja* (fig.11) (to protect and to conserve the forest and its resources this type of ritual is observed), *Lakshmi puja* (different types of vow items are conserved and protected with love and respect with the birds like own through this ritual), marriage ceremony and ritual (different types of fruits and flowers are conserved through this ritual), *Kamana Sagar* & *Baruni* of *Matuaism* (water resources are conserved as sacred part of this ritual), *Pous Parban* (fig.9) (conservation different types of agro-produced seeds and biodiversity is also maintained with this festival), worshipping of *Pakur* tree during *sasti puja* (fig.6) (conservation and nourishment of every parts of *pakur* tree (fig.20) is done through this ritual as a sacred part of Hindu religion) [35], rituals of *Pirbaba* and environmental messages (through this ritual different types of medicinal values and trees are conserved because the locations of *Pirbabas* (fig.14) are generally under a tree) [36], *Nandibrikshya,* goddess *Surangakali* worshipping (fig.15) as indicator of water conservation, and *Jainism* (through this ritual different types of trees are

conserved as the sacred part of their religion because *Jains* generally continue their pursuit under this type of sacred tree).



Fig.2. The *Pakur* tree is worshipped during *Jamai Sasti*. [37]



Fig.3. *Tulsi* worshipping by women at *tulsitala*[38]



Fig.4. A female worships a *Bat Briksha* (Banyan). Environmental knot to *Pakur* tree with human's thread. [39]



Fig.5. Adorning sacred *Channamrita* at the *Durga* Puja symbolises the need for essential environmental ingredients. [40]



Fig.6. Yellow yarn, bael leaves, and dust of turmeric powders are used in *Sasti puja*. [41]



Fig.7. Earthen snakes are worshipped during *the Nag Panchami* festival, [42, p.49] & *the sacred FaniManasa* plant looks like a snake, which is worshipped at *Kumirdanga*, Sundarbans, as a symbol of the goddess *Manasa*.



Fig.8. The Sun, water, and banana plant are worshipped in *Chhath puja*. [43]



Fig.9. Folk art *of Pous Sankrant* that is the source of food for birds after the festival. [44]

Tribal rituals of West Bengal have the importance of environmental sustainability [51]. For example: *Karam Parab* (through this ritual different types of fruits and flowers of trees are conserved and cultivated for agricultural production and also to show their respect to nature; fig.16), *Baha Parab (*through this ritual nourishment and respect to nature have been observed on different types of trees of fruits and flowers), *Sansari puja, Aaitabarey puja, Asar Pandra, Death* ritual of Magar tribe (fig. 17)*, Nayapo* puja (fig.18)*,* and *Chula Dunga* (through these rituals of tribes various types of love, respect and adoration have been observed to the nature and environment with their conservation; fig.19), *Sarhul utsav* (through the reflection of this ritual, quality of agricultural production can be observed and different types of trees are conserved) [52], *Bandna Parab (*different types of domestic animals and trees are conserved and protected through this rituals as their part of ritual), *Tusu Parab* (through this ritual, conservation of new paddy is celebrated and *Kumi* tribal people welcome natural agricultural production) [53], *Borkonia Para* (through this ritual tribal people worships different types of burnt idols of soils of different types of animal beside their deity and conserve their sacred animals with their environment; fig.20), *Brahmyadaitya utsav* (through this ritual, the *neem* tree is conserved [54] and the love and respect is seen by the human being to nature and environment; fig.21).



Fig.10. *Naukhai* festival of Oriya & Birhor to respect new paddy. [45]



Fig.11. *Bonbibi Puja* highlights the importance of the tiger in Sundarbans. [46]



Fig.12. *Vastu Puja* indicates the respect to soil & earth. [47]



Fig.13. Clay idols of crocodiles & turtles are worshipped in S. 24 Paraganas. [48]



Fig.14. *The Pakur* tree is worshipped with *Pirbaba thaan* at Raiganj. [49]



Fig.15. The goddess *Surangakali* indicates the importance of the customary recharging of groundwater level, and this Surang is connected with the *Jalangi* River. [50]



Fig.16. *Karam* worshipping in Purulia is getting an informal education to show respect for Nature. [55]



Fig.17. Death ritual of the *Magar* tribe of *Lebong* of Darjeeling. [56]



Fig.18. Environmental ingredients are used in the ritual of ***Nayapo Puja*** of the *Magar* tribe at *Khasmal* Ghum of the Darjeeling district. [57]



Fig.19. Worshipping of Fire (*Chula Dunga* / stone) by the Rai tribe of Darjeeling. [58]



Fig.20. *The Borkonia Parab* of the Santal of Bankura use vow items as replicas of types of animals & trees. [59]



Fig.21. The worshipping of *Brahmadaitya* of the Santal tribe indicates the significance of the protection of various trees. [60]

Agro-rituals have vital environmental importance in West Bengal [60]. For example, the *Gachibuna* ritual (different types of trees & fruits are used as part of the ritual) in Hatia village of Uttar Dinajpur (fig. 22), *Amati* (during thi festival farmer light the evening lamp in their house and the plowing is completely stopped; fig.23), *Kheti Lakshmi*/ *Bhumi Lakshmi* (worship agricultural land in July) in Khoksa village of Uttar Dinajpur, *Pakhi-Pakhali* (festival is started with the ritual of inviting birds to control the insects in the land before the booting stage of the paddy field) in Bhattadighi of Raiganj CD Block**,** *Nabanna in* Bhedia village of Purba Bardhaman district (traditional festival to welcome newly agricultural production in house during October-November or early autumn; fig.24), *Bandana Parab* of the Santali tribe of Ghosaldanga and Bishnbati of Sattore of Birbhum district or *Sohra Parab* of *Kumri* tribe in Banashuria village of Bankura district (*Sohrai* is a type of grass that is placed on the roof for the food of cattle; fig.25), *Itu Puja* (paddy is conserved through this ritual), *Kakabali* (offering foods to the dead soul of the family through the crow), *Auri Bauni* (farmers bring some *aman* rice husks to the house) [61]. The crisis of ecosystem, nervous forest,

climate accumulation, and disasters occur very frequently in our environment. [62]. The rituals have good space-time relevance and environmental connection. The rituals carry the idea of environmentalism. The urban mind has destroyed environmentalism in many cases [63].



Fig.22. Worshipping the paddy crops in *Gachibuna* ritual before the plantation saplings during the Bengali *ashar* month by *Rajbangshi* people. [64]



Fig.24. The ritual of *Nabanna* of South Dinajpur. [66]



Fig.23. *Amati* ritual of the *Rajbangshi* Community to worship paddy saplings. [65]



Fig.25. *Sohrai Parab Sama Chakeva* of *Ghosaldanga* & Bishnbati, Birbhum district, to honour of cattle or livestock, especially buffalo, bullock, goat, and sheep. [67]

River-based rituals in West Bengal have vital environmental sustainability [68]. For example, *Baruni Bathing* (pond conservation is done through this ritual), *Ganga puja* (fig.27) or *Ghat puja (*conservation of different types of fruits and flower trees is done, and respect and love for water is also maintained by this ritual; fig.26). The water of the holy pond is worshipped in different parts of West Bengal. Water is one of the five of *Panchabhuta* [69]. If the balance of the fifth is broken, the problem will arise in nature. Holy water and ponds are the basic part of the nature worship ceremony[70]. In each temple, holy water is used from the nearest river or pool; such as, the holy pond on the sites of *Bakreshwar* temple, *Kankalitala* temple, *Fulloratala* temple, & *Manasatala* (in *Koma* village) of Birbhum district [71], the holy pond on the *Biharinath* temple of Bankura district, the *Chandi* pond on the site of the *Chandi* temple of East Medinipur, and the *Pirtala* of Golgram of East Burdwan district [72].



Fig.26. Ghat Puja [73] during the Hindu marriage ceremony and *Water Worshipping in Kankalital* [74, p.31] indicate the importance of water in Hindu ritual.



Fig.27. River/water worshipping at *Alipurduar*& a very rare photo of sacred *Ganga Mata* that highlights the importance of biodiversity, which is shown here. [75]

Environmental rituals have a link to sustainability. River worshipping and water ecosystems are interrelated. The water of *Ganga* is used as the sacred water for the purification of sin and also used as the pure water in different rituals or *Pujas* [76]. The goddess (sacred river) is worshipped to cleanse the sin of the people; that's why people don't throw any garbage in the river. In Hindu scriptures, Goddess *Durga* is recognised in the name of *Devi Shitala*. The *Shitala Puja* is related to *Nimgacha*. At this time, the women pour out water on the sacred *neem* trees and cover them with red clothing [77]. The *Puja* of this *Shitala* is practiced due to the cure of their family members from *Basanta* diseases. As per the environmental point of view, this ritual of worshipping protects *neem* trees [78]. In this way, water and soil also are protected and conserved. In the month of *Jaistha*, the marriage between *Bot* and *Pakur* is done in many places in West Bengal. Through this ritual, we are protecting the trees. Even the leaves, grasses (fig. 28), and twigs of these trees are also needed to perform other rituals (e.g., Hindu marriage ceremony). In these ways, the flora (table 2) and fauna (table 3) are protected and conserved by the rituals [79]. The Phenoma tree is worshipped along with *Manasa* Puja. According to the local people, if anybody performs the adoration of *Manasa*, then the chance of a snake biting becomes less, and also the progress of the particular families becomes this ritual [80]. In these ways, the preservation of snakes and the plant *Phanimanosha* (fig. 7) is done in the entire West Bengal. Through *Shivaratri*, the bull & snake are conserved as sacred items. At the time of *Shivaratri*, people offer *baels*, *bael* leaves, and *dutura* to the lord Shiva. In this way, the preservation of bells and *dutura* trees is performed [81]. It is not known whether the hopes of the mind are fulfilled by pouring water on the *bael* tree or not, but the *bael* tree has survived for a long time. *Itu puja* is performed in the month of *Agrahayan*. [82]. The banana tree is used as a *kalabou* [83] during *Durga* Puja, and the fruit, the banana, is also needed to perform all types of rituals or holy works. As a result, everyone needs to plant bananas. As a result, the farmer gets income, gets a lot of oxygen in the environment, and also increases the fertility of the soil. The *tulsi (Ocimum sanctum)* is watered after bathing in Hindu houses every day [84]. As a result, the basil survives and produces oxygen both night and day, which protects our environment and also is used as a disinfectant for

germs. In *Saraswati* Puja, *Palash* flowers are very necessary [85]. In that case, the urge to plant and preserve *Palash (Butea monosperma)* trees has increased. *Ganesha* is compared to an elephant. As a result, elephants are saved through the worship of *Ganesha* [86]. The importance of soil is done through *Bhumi puja* or *Bastu puja*. All these deities are situated on different animals [87].



Fig.28. Sacred *Durva* grass is an ingredient item in Hindu rituals. [88]



Fig.29. Ritualistic belief of human and knot of threads with tree in the *Jalpeswar* temple of Uttar Bhuskadanga. [89]



Fig.30. Tie a piece of rock with the sacred *Bot* tree at *Kankalitala* of Birbhum as the symbol of aspiration. [90]



Fig.31. [91] 'A' indicates that crow is worshiping in parallel to *Saturn* Puja.
'B' indicates that snake is worshiping in parallel to Goddess *Manasa* worship.
'C' indicates that elephant is worshiping in parallel to God *Ganesh* worship.
'D' indicates that snake is worshiping in parallel to worship with Goddess *Manasa* conduct.
'E' indicates that the lion is worshiping in parallel to Goddess *Durga* Puja.
'F' indicates that Owl is worshiping in parallel to Goddess *Lakshmi* Puja.
'G' indicates that the lion is worshiping in parallel to worship.
"H" indicates that snake *Shiva* is worshiping in parallel to worship.
'I' indicates that the peacock is worshiping in parallel to God *Kartik* worship.

Table 3. Hindu rituals are performed with respect for the fauna community (fig.31).

Worshipping of Hindu Gods/Goddess	*Vahana* (the mount / vehicle of a deity)
Durga	*Panthera leo*
Shiva	*Bos taurus*
Vishnu	*Garula* (legendary bird)
Vaishno Devi	*Panthera leo*
Yamuna Devi	*Testudo graeca*
Ganesha	*Mus musculus*
Indra	*Equus ferus caballus*
Kartik	*Pavo cristatus*
Bhairava	*Canis lupus familiaris*
Saraswati	*Cygnus olor*
Bhumi	*Elephas maximus*
Kam	*Psittacus erithacus*
Laxmi	*Bubo bubo*
Shashti	*Felis catus*
Shitala	*Equus africanus asinus*
Biswa karma	*Elephas maximus* (
Shani	*Corvus brachyrhynchos*
Manasa	*Naja naja*
Yamuna	*Testudo graeca*
Santoshi	*Panthera tigris*

Source: Field Survey, 2025.



Fig.32. In *Sharddha*, cooked food is given to crows as part of a ritual that is important for the birth of the *peepal* tree. [92]

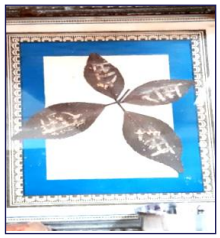


Fig.33. Rare four leaves of a Beal tree are sacred to the Hindu religion.



Fig.34. *Jimutabahane Puja* in *Jitastomi* in Purulia. [93]



Fig.35. Worshipping elephants at Jaldapara village near Halang & the elephant corridor at the *Lataguri* forest.



Fig.36. Conserving the sacred Peacock Shell Turtle (also called God *Mohon/ Vishnu*) in *Baneswar* Temple. [94]



Fig.37. Birthday celebration of Lord Sri *Krishna* & worshipping of cow by women. [95]



Fig.37. The folk ritual of frogs' marriage in *Bamangola* village of Malda district for the aspiration of rain for *Aman* paddy cultivation & this type of belief protects frogs from being killed by local people [96]



Fig.38. Sri *Madangupter Full Panjika-2025* signifies the importance of Hindu rituals in biodiversity conservation, apparently.

CONCLUSION

Rituals are directly and indirectly related to environmental sustainability. Hindu rituals are not only related to environmental protection, but also other religions protect the environment. For example, the *Pirbabar Thaan* of Raiganj protects a banyan tree. Based on the available information from 25 villages (25 women per village) and 625 women from 25 cities (25 women per city) in West Bengal, it has been observed that the importance of rural women to urban women is more in maintaining environmental sustainability. Therefore, independent sample t-testing has been applied, and the result is $t = 7.478$ (p value = 0.0000014) [97]. Therefore, it is said that rural women's rituals maintain their environmental rituals more than rural women's rituals. Based on surveys of 50 people from each of the selected tribal villages of Purulia, Darjeeling, Birbhum, and Bankura districts, it has been observed that in the place of tribal regions, both tribal

men and women practice and maintain environmental rituals, compared to non-tribal regions. Therefore, independent sample t-testing has been applied, and the result is t = 6.699 (p value = 0.0000101) [98]. Rural women are more positive about practicing environmental rituals than urban women. Compared to rural men, rural women are more supportive of engaging in environmental rituals. Urban women are more positive about practicing environmental rituals than urban men [99].

REFERENCES:

1. DATTA, R. (2024). Relationality in Indigenous climate change education research: A learning journey from Indigenous communities in Bangladesh. *Australian Journal of Environmental Education*, 40(1), 127-145. https://doi.org/10.1017/aee.2024.13
2. MUKHERJEE, S. (2024). Deconstructing the Universal through Rituals of Bengal. *IHE International Conference Proceedings*, 8, 95-108.
3. GHOSH, S. ET AL. (2024). Some common plants used in the rituals of Sundarban areas, West Bengal, India: A source of conservation practices and sustainable use. *Zenodo*. https://doi.org/10.5281/zenodo.6821733
4. KULSHESTHA, U. C. (2018). *The Social Rituals and Environmental Degradation*. Current World Environment. Pp. 1-3.
5. BRANDON, S. G. F. (1973). *Religious Ritual. P. Wiener (ed.). Dictionary of the History of Ideas.* New York: Scribners. P. 99.
6. SHANKAR, SUGANDHA. (2001). *Rituals and Environmental Conservation: A Sustainable Approach.* Publisher: Lap Lambert Academic Publishing. ISBN-10: 9783659131233. ISBN-13: 978-3659131233. ASIN: 3659131237.
7. SHIVHARE, P., & RASTOGI, D. (2016). *Environmental Impact Assessment Due To Festivals.* International Journal of Engineering Technology Science and Research. Pp. 166-172.
8. AHLBACK, TORE. (1991). *The Problem of Ritual.* Published by The Donner Institute for Research in Religious and Cultural History, Åbo. Finland.
9. SHARMA, L. R. (2023). Exploring the mixed methods research design. *GAJLL, 5*(1), 3-12.
10. SMITH, J. A. (2023). *Observing community rituals: An ethnographic field study*. Journal of Social Inquiry, 15(2), 121–134. https://doi.org/10.1234/jsi.2023.01502
11. LEE, K. T. (2022). *Analyzing governmental archives: A documentary approach to policy change.* Policy Review, 28(3), 200–215.
12. KUMAR, ANKIT. (2022). *Observation Method*. International Journal of Scientific Research. 13. 1-14.
13. GLAW, X., INDER, K., KABLE, A., AND HAZELTON, M. (2017). *Visual Methodologies in Qualitative Research: Autophotography and Photo Elicita-*

tion Applied to Mental Health Research. International Journal of Qualitative Methods. Volume 16: 1–8.
14. *JHANGIANI, R. S., CHIANG, I.-C. A., CUTTLER, C., & LEIGHTON, D. C. (2019). Research methods in psychology (4th ed., pp. 161–165). Open Educational Resources Collection.*
15. GRAVETTER, F. J., & WALLNAU, L. B. (2021). *Statistics for the behavioral sciences* (11th ed., p. 317). Cengage Learning.
16. *QGIS DEVELOPMENT TEAM. (2024). QGIS Geographic Information System (Version 3.34) [Computer software]. QGIS Association. http://qgis.org*
17. MCKINLEY, A. (2018). Thoughtful reflections on narrative dynamics [Review of the book *Story Worlds: The Power of Narrative*, by L. M. Smith]. *Literary Review Quarterly*, 34(2), 82–84.
18. 19. 37. 38. 39. 40. 41. 43. 45. 47. 56. 57. 58. 60. 64. 65. 66. 67. 73. 75. 88. 89. 90. 91. 95. 98. 99. SARKAR, A. (2021). *Rituals and Environmental Sustainability: A geographical study in West Bengal*. Doctoral thesis in Geography, Raiganj University.
20. CLARK, J. (2006). *Rituals and Tradition: A Comparative Essay on the Use of Ritual in Christian, Jewish, and Hindu Practice.* Denison Journal of Religious. Pp. (2-8).
21. HORNBORG, A.-C. (2008). *Protecting Earth? Rappaport's Vision of Rituals as Environmental Practices.* Journal of Human Ecology. P. 281.
22. RAI, S. (2007). *Traditional ecological knowledge and community-based natural resource management in northeast India.* Journal of Mountain Science.
23. HUXLEY, J. (ed.) (1966). *A Discussion on Ritualization of Behaviour in Animals and Man.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, p. 251.
24. MARY D. MAHAPATRA. (2001). *Tribal Religion and Rituals (Accounts of Superstition, Sorcery, and Spirits).* Published by Dominant. ISBN 10: 8187336692. ISBN 13: 9788187336693.
25. RAO, A. (2023). Review of the book *Sustainable Development: Pathways for a Green Future*, by J. Smith. *Environmental Reviews*, 15(2), 112–115.
26. TALWAR, SABANA. (2012). *Economics of Sustainable Development.* Publisher: Global Research Publications. ISBN-10: 8189630377. ISBN-13: 978-8189630379.
27. Singh, R. B., & Kumar, P. (2021). Urbanization, environmental degradation, and climate resilience in developing cities. *Journal of Urban and Environmental Research*, *12*(3), 210–225. https://doi.org/10.1016/j.juer.2021.05.006
28. RAJNI. (2024). Ecological sustainability through Vrat rituals in Indian culture: A critical study. *International Journal of Creative Research Thoughts, 12*(2), 156–161.
29. RAPPAPORT, R. A. (1999). *Ritual and Religion in the Making of Humanity*. Cambridge: Cambridge.

30. PAL, TAPAS. (2017). *Mawphlang, India's Largest Sacred Ecology: An Output of Tribe and Practicing Environmental Culture.* North Asian International Research Journal of Social Science & Humanities. P. 24.
31. WTE Infra. (2021, January 14). *Harvest Festivals in India: A Sustainable Farming Perspective* (para. 9-15). Retrieved from https://www.linkedin.com/pulse/harvest-festivals-india-sustainable-farming-perspective-wte-infra-21upf
32. Mondal, A. (2024). Indigenous Festivals and Climate Sustainability in India. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, 16(1), 1-15 (see p. 5 for environmental significance).
33. ROBIN RINEHART. (July 21, 2004). *Contemporary Hinduism: Ritual, Culture, and Practice.* Publisher: ABC-CLIO. ISBN-13: 978-1576079058. ISBN-10: 1576079058.
34. 36. PAL, TAPAS. (2013). *Geo-environmental appraisal of sacred groves and their related traditional practices in West Bengal*. (Ph.D. thesis). Visva-Bharati: Santiniketan. p. 63.
35. KRISHNA, N., & AMIRTHALINGAM, M. (2014). *Sacred Plants of India.* Penguin Books Limited. Krishna, N., & Amrithalingam, M. (March 22, 2015). *Tree worship is the result of our reverence for a creation of nature that provides us food and fodder*. The Speaking Tree.
42. PAL, TAPAS (2012). *Folk-Worshipping In West Bengal: Lore Of Folk Geography***.** Laplambert Publication, Germany, ISBN 978-3-659-16226-8. P. 39.
44. 46. 49. 74. PAL, TAPAS. (2012). *Folk-Worshipping In West Bengal: Lore Of Folk Geography.* Laplambert Publication, Germany, ISBN 978-3-659-16226-8
48. BHOUMIK, MAYUKH (2020). *Bastu Puja –Purba Banglar Pous Sankrantir Annyatama Loko Utsav* from Bangali.Koulal.com.
50. 59. THAKUR, SWAPAN (2020). *Bichitra Devdevi Barkonia.* Koulal Patrika: Purba Burdwan.
51. LAUDINE, CATHERINE. (2016). *Aboriginal Environmental Knowledge: Rational Reverence and Vitality of Indigenous Religions*. Routledge Publication.
52. DROESCH, SCHULTE, LEA. (10th September 2018). *Making Place through Ritual: Land, Environment, and Region among the Santal of Central India (Religion and Society).* Publisher: De Gruyter. ISBN-10: 311053973X. ISBN-13: 978-3110539738.
53. PARK, C., Chris. (1994). *Sacred Worlds: An Introduction to Geography and Religion*. Rutledge. London and New York.
54. AMIRTHALINGAM, M. (2016). *Sacred Groves of India—An Overview.* International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology, 64-74. doi:http://dx.doi.org/10.20546/ijcrbp.2016.304.011
55. *ALLEVENTS.IN* retrived from SHOMIK (Sep 04, 2020) https://www.whatshot.in/kolkata/purulia-land-of-tribal-festivals-west-bengal-c-14264.
60. BAIN, W. K. (2022). Ecology, folk tradition, and ethnic adaptive belief sys-

tems: Sustainability practices among the ethnic communities in West Bengal, India. *[Conference presentation]*. Scribd. https://www.scribd.com/document/841833957/t10

61. CHOUDHURY, S. (2013). Between nature worship and the preservation of environment in some parts of West Bengal in India. *International Journal of Social Sciences*, 2(2), 123–133. New Delhi Publishers. https://ndpublisher.in/admin/issues/IJSSV2N2b.pdf
62. KAPOOR, V. (2023). Promoting sustainable development in festivals through ritual revisions. *Journal of Sustainable Tourism*. https://doi.org/10.1080/09669582.2024.2315497
63. POHL, R. (2024). Rituals as Nature-Based Governance of reciprocity between people and nature. *Zenodo*. https://zenodo.org/records/13762005
68. CHATTARAJ, A. (2021). Sacred water and cultures of worship: Some observations on the river in India. *Humanidades & Bioética*, 11(2), 168–182.
69. ISHA FOUNDATION. *(2024, May 6). What are the five elements or Pancha Bhutas? In Sadhguru wisdom. https://isha.sadhguru.org/en/wisdom/article/five-elements-pancha-bhuta*
70. PAL, TAPAS. (2012). *Folk-Beliefs and Environmental Nourishment the Nano-Culture and Folk-Mathematics.* Laplambert Publication, Germany, ISBN 978-659-20784-6
71. PAL, TAPAS (2012). *Supervision Of Sacred Groves On Environment Management: Diagrammatically Explained.* International Journal of Applied Science & Engineering Research. Vol.1.No.2. Integrated Research Publication, China.364-371. ISSN 2277-9442. Vol1.No.1 2012. 54-63. ISSN 2167-1141
72. PAL, TAPAS (2012). *A 'SACRED-BOURN' OF 2500 YEARS: The Culture Of 'Do Ecology'***.** International Journal of Traditional & Natural Medicines. Vol1.No.1. Modern Scientific Press, Florida, USA. pp. 54-63. ISSN 2167-1141
76. CHOUDHURY, S. (2014). *An empirical study on the relationship between nature worship and the preservation of environment in some parts of West Bengal in India. International Journal of Social Science, 2(2), 93–103.*
77. MUKHERJEE, S. (2015). *Indigenous knowledge and environmental ethics: A study of sacred groves and traditional water management in West Bengal, India. International Journal of Social Science and Humanity, 5(4), 370–374. https://doi.org/10.7763/IJSSH.2015.V5.485*
78. NARAYAN, R. (1997). *Folk rituals and health care: A study of Sitala worship in India. Indian Anthropologist, 27(2), 13–24. https://www.jstor.org/stable/41919976*
79. BANDYOPADHYAY, S., & MUKHERJEE, A. (2011). *Religious beliefs and conservation of plant biodiversity: A study from Bankura district of West Bengal, India. Journal of Economic and Taxonomic Botany, 35(3), 602–613.*

80. MAITY, S. (2024). Interrelation between Manasa Puja, plant worship, and snake conservation in West Bengal. *Journal of Historical Studies and Research*, 4(2), 234-245.
81. SARKAR, S. (2022). Sacred groves and ritualistic plant conservation: A study on religious environmentalism in India. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development, 13*(3), 45–57. https://doi.org/10.4018/IJSESD.20220701.oa3
82. SHARMA, K. (2023, November 15). *Significance and rituals of Itu Puja in Agrahayan*. Culture and Tradition of Bengal. https://www.bengalculture.org/itu-puja-agrahayan
83. MY INDIA MY GLORY. (2018, October 18). *Kola Bou: Ritual of Banana Bride, worshipped during Durga Puja in Bengal*. https://www.myindiamyglory.com/2018/10/18/kola-bou-ritual-of-banana-bride-worshipped-during-durga-puja-in-bengal/
84. INDIAN CULTURE. (2024, January 1). *Tulsi: The Elixir of Life*. https://indianculture.gov.in/food-and-culture/spices-herbs/tulsi-elixir-life
85. KAPOOR, S. (2002). *Encyclopaedia of Indian traditions, rituals, and festivals* (Vol. 2, p. 546). New Delhi, India: Cosmo Publications.
86. LOCKWOOD, J. (2007). *The Ganesha Connection: Elephants in Indian Culture*. In *Imagining India: Essays on Indian History and Culture* (p. 121). Oxford University Press.
87. CHOUDHURY, B., & CHOUDHURY, A. K. (2023). Environmental consciousness as reflected in Indian literature since Vedic era. *International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), 5*(5), 1–10.
92. RGYAN. (2021). *Pitru Paksha Puja vidhi, Rituals, Legends and Significance* from https://rgyan.com/en/festival-detail/pitru-paksha-puja-vidhi
93. RADHE SUNNA PHOTOGRAPHY. (2020). *Jimutavahana Puja in Janmashtami* [Photograph]. Bankura Page, Tara, Purulia.
94. PAL, TAPAS (2012).*Folk-Worshipping In West Bengal: Lore Of Folk Geography.* Laplambert Publication, Germany, ISBN 978-3-659-16226-8
96. UTTAR BANGA SAMBAD. (2020, July 22). Villagers perform frogs' marriage to invoke rain. Malda edition, p. 5
97. GUPTA, M. (2025). *Sri Madan Gupter Full Panjika 1432 (2025–26)* (pp. xx). Rajendra Library: Kolkata.

Acknowledgements *Author is thankful to his own scholar Dr. A. Sarkar & all other local village dwellers for supporting information and gratitude to Perplexity AI in identifying the scientific names related to the article.*

VARIETATEA DENSITĂȚII FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA

DENSITY VARIATIONS OF GEOLOGICAL FORMATIONS IN THE SOUTHERN AREA OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 552.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.80**

Alexandru TAMBUR
ORCID: 0009-0002-2010-6235
E-mail: alexandr.tambur@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andrei DIDUH
ORCID: 0009-0005-3696-0569
E-mail: andrei.diduh@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Hanna CHARUSHNIKAVA
ORCID: 0009-0007-8204-5104
E-mail: hanna.charushnikava@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Irina COCIU
ORCID: 0009-0006-3141-7687
E-mail: irina.cociu@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor JELEAPOV
ORCID: 0009-0000-1995-550X
E-mail: victor.jeleapov@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Valerian CIOBOTARU
ORCID: 0009-0005-2098-6174
E-mail: valerian.ciobotaru@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study focuses on the geological and petrophysical characterization of the sedimentary formations within the Predobrogean Depression, located in the southern part of the Republic of Moldova. Detailed analysis was carried out in three structurally significant sectors: Baimaclia, Baurci, and Aluatu, based on data obtained from deep boreholes, gravimetric surveys, and seismic methods. The main objective was to investigate the spatial distribution of rock density and its relevance in identifying structural discontinuities and potential hydrocarbon traps. The rock density values, determined through petrophysical analysis, exhibit significant variation with depth, ranging from 1.3 g/cm³ to 2.8 g/cm³. Two major density discontinuities were identified: an upper one corresponding to the stratigraphic boundary between Mesozoic and Cenozoic formations, and a lower one around 1600 m depth, marking the transition to compact Paleozoic rocks. These discontinuities are consistent with gravitational anomalies and suggest the presence of brachyanticlinal structures capable of hydrocarbon accumulation. The integration of density data with geophysical interpretations supports the delineation of two linear density zones aligned with regional tectonic trends, reinforcing the structural model of the depression.*

Keywords: *density, geological prospecting, gravimetry, Jurassic, lithological formations, Paleozoic.*

INTRODUCERE

Investigarea structurii geologice a sudului Republicii Moldova, cu accent pe Depresiunea Predobrogeană, constituie o etapă esențială pentru evaluarea potențialului de acumulare a hidrocarburilor în cuvertura sedimentară regională. În cadrul acestui spațiu geologic, sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu au fost desemnate, în literatura de specialitate și în documentația tehnică, drept perimetre de interes geologic sporit, fiind obiectul unor activități intense de prospecțiune și explorare [1], [2].

Componentele geologice ale acestor sectoare, caracterizate printr-o stratigrafie complexă și o diversitate litologică notabilă, includ formațiuni sedimentare de vârstă paleozoică și mezozoică, ale căror proprietăți petrofizice determină în mod direct capacitatea de înmagazinare a hidrocarburilor. Lucrările de cartare geologică au evidențiat o corelație clară între distribuția densităților rocilor și existența unor discontinuități litologice, interpretate ca structuri capcană. În acest context, măsurătorile densimetrice dobândesc o relevanță strategică în interpretarea geofizică a datelor gravimetrice și seismice, contribuind la localizarea formațiunilor geologice cu potențial economic de acumulare a hidrocarburilor.

Prospecțiunile geologico-geofizice realizate pe teritoriul menționat au permis localizarea unor forme structurale aparent brahianticlinale, care ar putea funcționa ca structuri-capcană pentru acumulări de hidrocarburi în cantități industriale.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru efectuarea acestui studiu a fost efectuată analiza datelor bibliografice și de arhivă, analiza diagrafiilor de carotaj a forajelor adânci, săpate în partea de sud a teritoriului RM și corelate cu regiunile limitrofe. Sursele de date geologice și petrofizice

provin din rapoarte tehnice elaborate în urma forajelor efectuate în perioada anilor 1970–1990.

Determinările densimetrice s-au realizat conform standardelor petrofizice aplicate în analiza carotelor de foraj. Densitățile au fost măsurate atât prin metode directe (pe eșantioane compacte și uscate), cât și prin metode indirecte (carotaj geofizic de sondă – gama-gama, neutron și acustic). Valorile obținute au fost corelate cu adâncimile absolute și au fost grupate pe complexe litologice majore (cuaternar-paleogen, jurasic, paleozoic).

Pentru interpretarea gravimetrică s-au utilizat hărți existente la scările 1:200000 și 1:50000, completate cu date noi obținute prin măsurători de teren, acolo unde a fost posibil. Reducerea datelor gravimetrice la Bouguer s-a efectuat utilizând o densitate medie de 2,3 g/cm³ pentru cuvertura sedimentară, iar în cazurile detaliate, s-au aplicat corecții suplimentare pentru influența stratului intermediar, pe baza distribuției spațiale a densităților determinate experimental.

Pe baza setului integrat de date (densimetrice, gravimetrice, seismice), au fost elaborate două modele spațiale ale distribuției densității la adâncimile de 1000 m și 2000 m. Respectiv, aceste modele au fost generate prin interpolare geostatistică și verificate prin suprapunere cu anomaliile gravitaționale regionale [3].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În urma sistematizării datelor densimetrice referitoare la teritoriile de perspectivă din regiunea de sud a RM, expuse în diverse rapoarte geologice, s-a constatat că, în cadrul Depresiunii Predobrogene, densitățile rocilor variază între 1,3 g/cm³ și 2,8 g/cm³ [4].

Valorile minime ale densității sunt caracteristice varietăților litologice din cadrul așa-numitului „strat intermediar” (noțiune gravimetrică), situat între suprafața de la zi și suprafața de referință (nivelul mării). După compoziție, stratul intermediar este destul de eterogen, ceea ce determină o variabilitate considerabilă a densităților. La calcularea anomaliilor gravimetrice în reducerea Bouguer, la scară detaliată, pentru excluderea influenței „stratului intermediar” se efectuează cercetări petrofizice speciale și se aplică anumite corecții în spațiul densimetric. În regiunea de interes (figura 1), cartările gravimetrice au fost realizate la scările 1:200000 și 1:50000.

Conform analizelor detaliate ale densităților determinate pe carotele extrase în procesul forării sondelor în cadrul Depresiunii Predobrogene din sudul RM, la adâncimi cuprinse între 1400-1600 m se observă o creștere a densității rocilor de la 2,3 g/cm³ la 2,8 g/cm³, iar în limitele sectorului Baurci, la o adâncime de aproximativ 1600 m, se evidențiază o discontinuitate petrofizică caracterizată printr-un „salt” relativ brusc al densităților, cu o diferență estimată de +0,25 g/cm³ (figura 2).

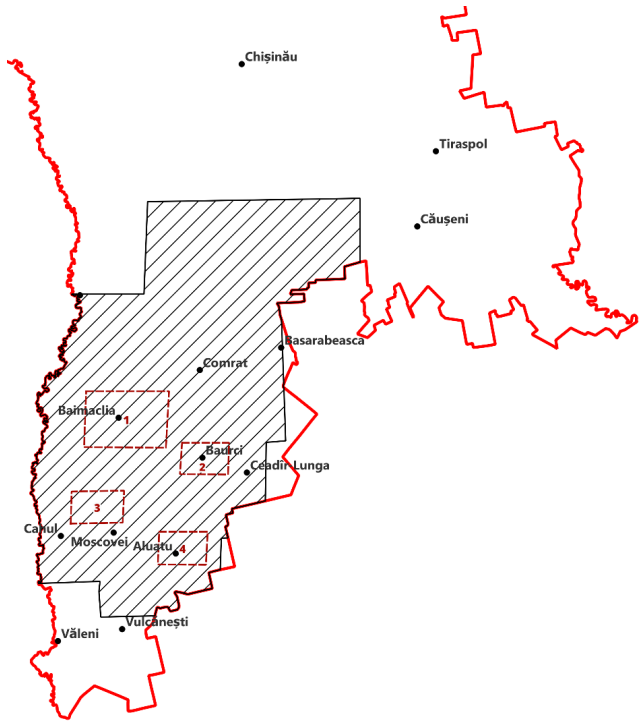


Figura 1. Regiunea de sud a Republicii Moldova în cadrul căreia au fost realizate ridicări gravimetrice la scara 1:200000 și 1:50000.
Sunt conturate sectoarele în care s-au efectuat prospecțiuni geologice pentru identificarea potențialelor acumulări de hidrocarburi: 1 - Baimaclia, 2 - Baurci, 3 - Moscovei, 4 - Aluatu.

Pe baza datelor obținute în urma forării sondelor de mare adâncime, sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu, sunt considerate zone de perspectivă pentru prospecțiuni și localizarea unor acumulări industriale de hidrocarburi în formațiunile geologice jurasice și paleozoice. Această discontinuitate densimetrică, cu unele abateri, coincide cu suprafața de limită stratigrafică dintre formațiunile sedimentare jurasice și paleozoice. Este important de menționat că diferențierea litologică și cronostratigrafică dintre formațiunile mezozoice și paleozoice din Depresiunea Predobrogeană este încă disputată [5].

Densitățile varietăților litologice pot fi sistematizate în trei grupe, corespunzătoare unor complexe litologice distincte, ce diferă atât prin specificul densimetric, cât și prin vârsta geologică.

Primul complex, cel superior (care nu este reprezentat în diagramele din figura 2), este constituit din formațiunile complexului cenozoic (neogen-eocene) și are grosimi de 400–650 m, conform datelor prezentate în tabelul 1. De exemplu, în sondele din sectorul Baimaclia: P-115, P-12 și P-15, limitele geologice dintre formațiunile jurasice și stratificațiile mai tinere, se găsesc la adâncimi de 770 m, 577,8 m și respectiv 558,5

m (tabelul 1). În sondele P-22, P-30 și P-31, forate în sectorul Baurci, pachetul de strate cenozoic are grosimi de 565 m, 527 m și 612 m, respectiv. În schimb, în sectorul Aluatu, limita superioară a jurasicului se situează la adâncimi mai mici, pachetul de strate prejurasice având o grosime medie sub 350 m (de exemplu, în sonda P-21 – 315 m). Poziționarea topografică a sondelor menționate este ilustrată în figura 4.

Densitățile rocilor din cenozoic variază între 2,2 g/cm³ și 2,4 g/cm³. În general, specificul petrofizic al varietăților litologice din complexul superior nu este clar. Prezența numeroaselor intercalații lenticulare de nisipuri și argile, depuse în condiții sedimentologice variate, nu permite o corelare sigură a datelor densimetrice determinate în sondele forate.

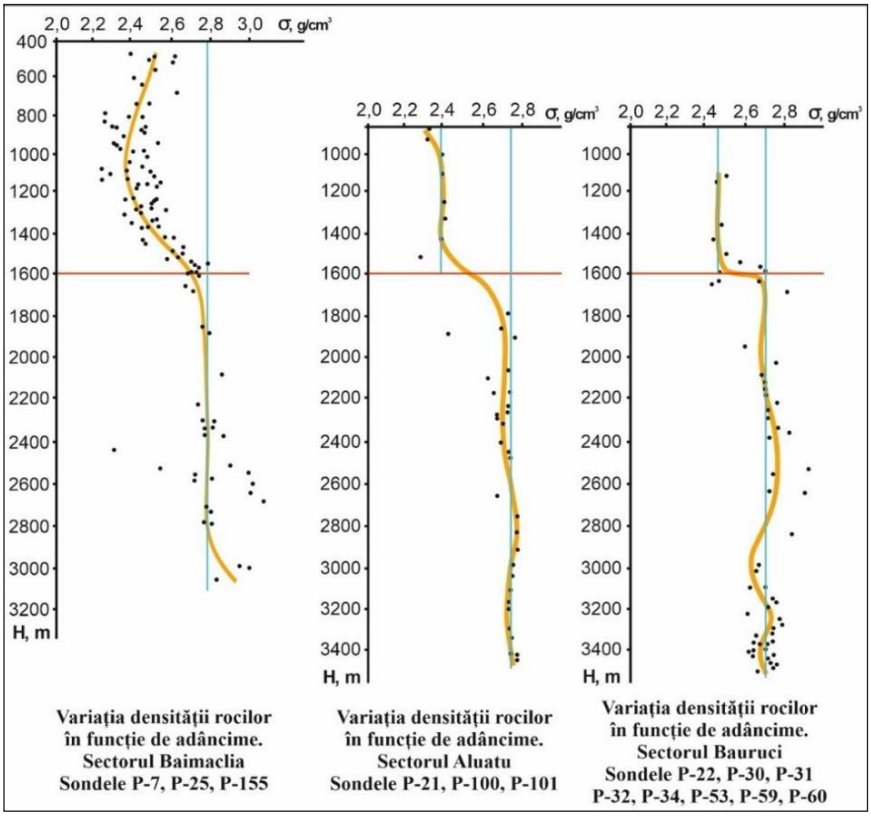


Figura 2. Relația dintre densitatea varietăților litologice și adâncime în diferite sectoare ale Depresiunii Predobrogene (Gurtovenco V.I., 1972)

Complexul mediu, constituit din strate de vârstă jurasică, este caracterizat de o densitate medie de 2,4 g/cm³ (figura 2). Deoarece depunerile jurasice din Depresiunea Predobrogene sunt asociate cu perspective importante pentru localizarea zăcămintelor de hidrocarburi, specificul geologico-structural al complexului mediu a fost studiat în mod detaliat [1], [2].

Din punct de vedere litologic, în stratele jurasicului, în special în cele ale jurasicului mediu, predomină varietățile de gresii, argilite nisipoase și argile. În formațiunile jurasicului superior se remarcă prezența argilitelor, gresiei, precum și a unor pachete de strate constituite din calcare cavernoase-fisurate din etajul oxfordian, precum și ghipsuri cu anhidrite, specifice etajului titonian.

Tabel 1. Formațiunile jurasicului și paleozoicului traversate de foraje. (Conform datelor prospecțiunilor geologice (Enzina L.I., 1964; Poluhtovici B.M.,1967)

				Sonde de cartare geologică (cota absolută a gurii de sondă, m / adâncimea sondei, m / abatajul)				
Grup	Sistem	Serie	Etaj	Sectorul Baurci		Sectorul Baimaclia		Sectorul Aluatu
				P-30	P-31	P-12	P-15	P-21
				* 115,9/ 3056/ D_1	118,3/ 2010,6/ D_2	80,3/ 2002,0/ P-T	129,9/ 3022,2 P-T	48,0/ 2331,0 T(?)
				Limite geologice; cote absolute/adâncime, m				
				Superioare				
MZ	J		J_3	**-411,1/ 527,0	-493,7/ 612,0	-497,5/ 577,8	-427,6/ 557,5	-267,0/ 315,0
				Inferioare				
			J_3th	-540,1/ 656,0	-692,7/ 811,0			
			J_3km	-720,1/ 836,0	-946,7/ 1065,0			
			J_3ox	-969,1/ 1085,0	-1226,7/	-531,5/ 611,8	-448,6/ 578,5	-652,0/ 700,0
			J_2cl	-1116,1/ 1232,0	-1386,7/ 1345,0	-678,5/ 758,8	-533,6/ 663,5	-1029,0/ 1077,0
			J_2bt	-1337,1/ 14530	-1514,7/ 1633,0	-770,5/ 850,8	-651,6/ 781,5	-1496,0/ 1544,0
			J_2bj	-1494,1/ 1610,0	-1560,7/ 1679,0	-1382,5/ 1462,8	-1173,4/ 1303,3	-2038,0/ 2036,0
	P-T							
	C	C_1		-1654,1/ 1770,0	-1663,7/ 1782,0			
	D	D_3		-2448,1/ 2564,0				
		D_2		-2812,1/ 2928,0				

Rocile de vârstă paleozoică, ale complexului inferior, se disting prin densități relativ mari, încadrându-se în intervalul 2,7–2,8 g/cm³, conform determinărilor. Condiţiile de zăcământ şi relaţiile structurale ale rocilor permiane cu elementele similare ale formaţiunii sedimentare triasice nu sunt clar stabilite, astfel, permian-triasicul este prezentat ca o formațiune geologică unitară. Formațiunile permian-triasice traversate de foraje în partea de nord a Depresiunii Predobrogene, în zona brahianticlinalelor Baimaclia, Baurci și Aluatu, sunt reprezentate de strate dislocate, formate din argilite, aleurolite, calcare, anhidrite și gresii.

Secțiunea geologică devonian-carboniferică, străbătută de foraje în sectorul Baurci, este caracteristică regiunii sudice a RM. Între varietățile de roci sedimentare ale acestor sisteme stratigrafice prevalează varietățile de argilite, calcare dolomitizate și marnă.

Comparând curbele variației densității rocilor reprezentate în figura 2 cu datele de foraj din tabelul de mai sus, se observă că nivelul hipsometric de aproximativ -1500 m până la -1550 m, determinat pe baza adâncimilor de 1600 m ale sondelor din sectoarele menționate, poate servi drept reper pentru interpretarea datelor gravimetrice și seismometrice.

Putem admite că, în cuvertura sedimentară a Depresiunii Predobrogene din regiunea de sud a RM, densitatea varietăților litologice prezintă două „salturi”. Una dintre explicațiile pentru această discontinuitate a densității rocilor în raport cu adâncimea poate fi bazată pe un fenomen stabilit prin metode statistice, care corelează densitățile nu doar cu modificările compoziției rocilor cauzate de procesele diagenetice și/sau epigenetice repetate, dar în cea mai mare parte și cu lacunele stratigrafice apărute în procesul evoluției geologice a cuverturii sedimentare. Prin metode empirice a fost determinat defectul de densitate situat la limita formațiunilor geologice de vârste diferite, în raport cu durata geocronologică a lacunei stratigrafice [6]. Această relație nu se respectă întotdeauna în condițiile subsolului, însă, la nivel calitativ, ea este luată în considerare.

Referindu-ne la fragmentul Orogenului Nord-Dobrogean, aflat în extrema sudică a RM, acesta prezintă trăsături specifice platformelor tinere (în cazul nostru, epihercinice) [7]. O analiză mai aprofundată a fost realizată asupra datelor măsurărilor densității varietăților de roci pe carotele extrase din sondele 272 și 273, forate în apropierea localității Zârnești (Cahul), aproape de limita nordică a platformei epihercinice, precum și sondele 265 și 288 (Văleni și Slobozia Mare, Cahul) [2].

Datele petrofizice determinate pe carotele extrase din sonde, evidențiază la nivelul adâncimilor de 450–550 m, o discontinuitate clară, reprezentată printr-o creștere bruscă a densităților de la 2,25 g/cm³ la 2,60–2,70 g/cm³ (figura 3). În sondele forate în apropierea localităților Zârnești, Văratic și Slobozia Mare, cuvertura sedimentară are o grosime de aproximativ 500 m, astfel încât discontinuitatea densimetrică coincide cu suprafața soclului platformei epihercinice, ale cărei roci metamorfozate în faciesurile inferioare se caracterizează prin densități ce nu depășesc 2,70 g/cm³ [5].

O discontinuitate slab pronunțată în câmpul densimetric al subsolului, cu valori între 2,60 g/cm³ și 2,80 g/cm³, se observă la adâncimile de 1100–1200 m. Totuși, deoarece

aceasta a fost identificată doar în două sonde forate în apropiere nemijlocită una față de cealaltă, originea acestei discontinuități densimetrice rămâne incertă [5].

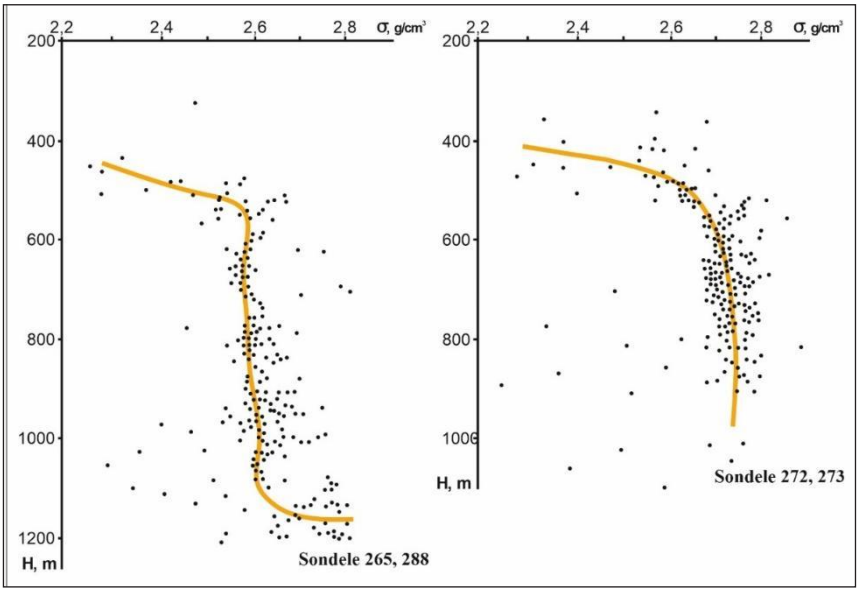


Figura 3. Variația densității rocilor în funcție de adâncime din cadrul platformei epihercinice (Gurtovenco V.I.; 1972, precizat)

Pentru efectuarea interpretării geologice a anomaliilor gravitaționale, studiul densității rocilor este de o importanță deosebită. Așa cum a fost menționat, în zona de studiu au fost identificate două discontinuități densimetrice. Cea superioară corespunde suprafeței de eroziune a stratelor de vârstă jurasică iar cea inferioară, deși nu întotdeauna, coincide aproximativ cu suprafața de eroziune a formațiunilor paleozoice și poate fi considerată limita inferioară a formațiunilor jurasicului mediu.

Folosind datele privind densitatea varietăților litologice, determinate prin metode directe sau prin metode de carotaj în sondele forate în regiunea de sud a RM, au fost elaborate două scheme densimetrice ale formațiunilor geologice aflate la nivelele adâncimilor 1000 m și 2000 m (figura 4).

La adâncimi de aproximativ 1000 m sunt identificate trei „anomalii" evidențiate prin densități relativ reduse, sub 2,4 g/cm³. În limitele sectoarelor Baimaclia și Baurci, valorile minime ale densităților se suprapun practic peste două anomalii gravitaționale locale pozitive, marcate în figura 4 cu cifrele 1 și 2. În schimb, în cadrul sectorului Aluatu, a treia „anomalie" cu densități reduse coincide cu o anomalie gravitațională negativă.

Analizând repartizarea densității varietăților litologice la nivelul adâncimilor de 1000 m, putem admite că în Depresiunea Predobrogenă se disting două zone densimetrice liniare, concordante cu direcția structurală regională. „Anomaliile" densimetrice din sectoarele Baimaclia și Baurci formează o zonă liniară orientată est-vest de-a lungul limitei

nordice a depresiunii. A doua zonă, cu caracter mai probabil, include „anomalia” sectorului Aluatu și se situează în imediata vecinătate a limitei Orogenului Nord-Dobrogean.

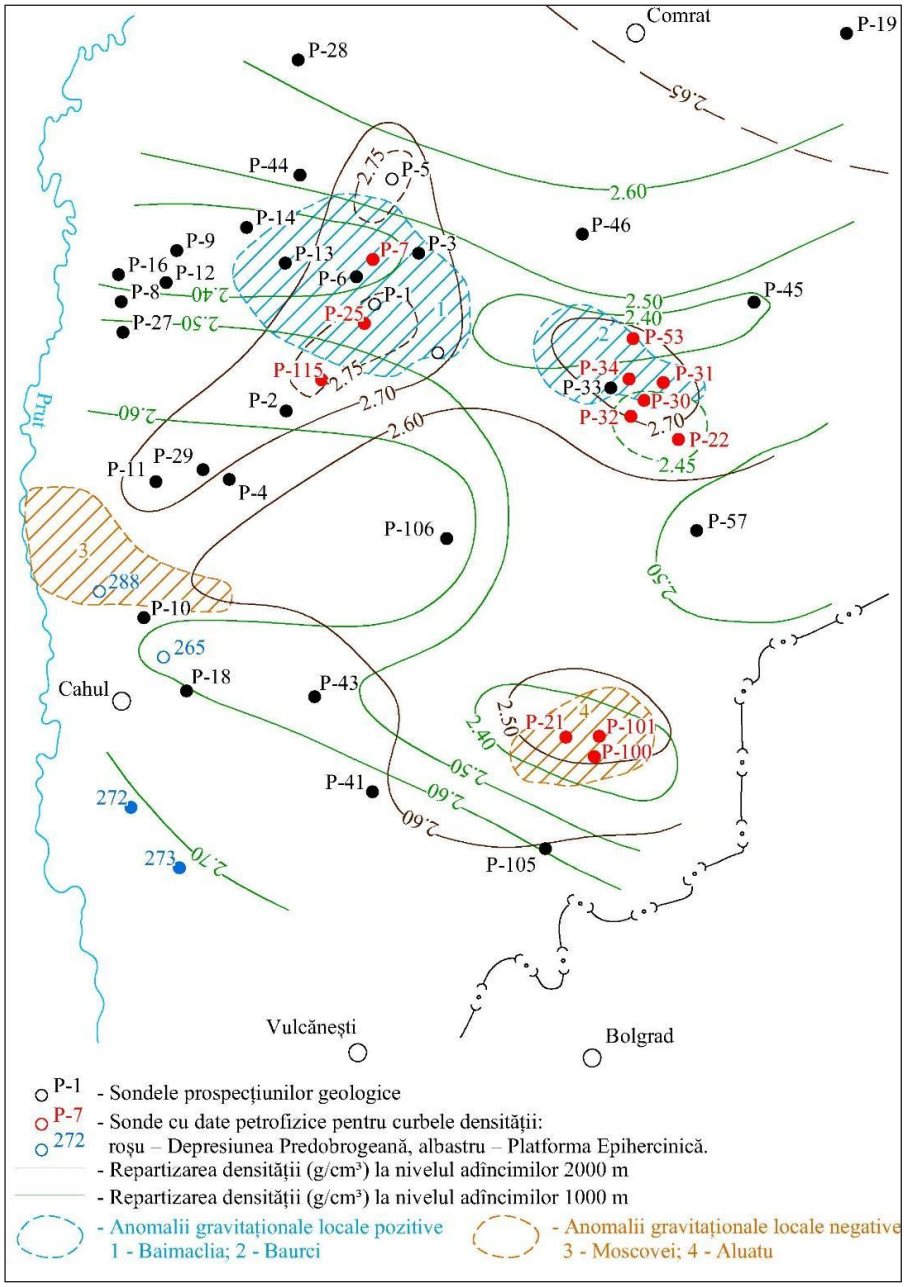


Figura 4. Schema repartizării densității varietăților litologice la nivelul adâncimilor 1000 m și 2000 m (Modificată în baza datelor prezentate de Gurtovenco V.I., 1972)

CONCLUZII

Studiul detaliat al parametrilor petrofizici, în special al densității formațiunilor litologice din Depresiunea Predobrogeană, a permis conturarea unor concluzii esențiale pentru interpretarea structurii geologice și pentru evaluarea potențialului de acumulare a hidrocarburilor în sudul Republicii Moldova. Analiza a fost fundamentată pe integrarea datelor obținute din foraje de mare adâncime, măsurători gravimetrice și seismometrie aplicată, ceea ce a permis corelarea verticală și laterală a valorilor densității cu structura geologică regională.

Concluzii principale:

1. Densitatea formațiunilor geologice din regiunea sudică a RM variază într-un interval larg, între 1,3 g/cm³ și 2,8 g/cm³, reflectând caracterul eterogen al cuverturii sedimentare și succesiunea complexă a unităților litostratigrafice.
2. Două discontinuități densimetrice majore au fost identificate: una superioară, între formațiunile mezozoice și cele mai noi, și una inferioară, în zona de contact cu formațiunile paleozoice, în jurul adâncimii de 1600 m.
3. Nivelul hipsometric, determinat de adâncimile 1600 m ale sondelor poatea servi în calitate de reper pentru interpretările datelor gravimetrice și seismometrice.
4. Valorile ridicate ale densităților (2,7–2,8 g/cm³) sunt asociate cu formațiunile paleozoice, fapt ce le conferă un rol activ în generarea anomaliilor gravitaționale și în stabilirea modelelor structurale de adâncime.
5. Utilizarea unei densități medii de 2,3 g/cm³ pentru reducerea Bouguer este adecvată pentru studiile regionale, dar necesită corecții locale în cazul modelărilor detaliate.
6. Rezultatele susțin ipoteza existenței unor structuri-capcană pentru hidrocarburi în sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu, în special în complexele jurasice și paleozoice.

Recomandări:

1. Actualizarea hărților gravimetrice la scări mai detaliate, cu încorporarea datelor densimetrice din ultimele campanii de foraj și carotaj geofizic.
2. Aplicarea metodelor geofizice moderne, precum tomografia seismică 2D/3D și inversia gravimetrică avansată, pentru a delimita cu precizie structurile subterane și pentru a estima mai fidel volumele potențiale de acumulare.
3. Efectuarea de corecții densimetrice regionale și locale în modelările gravimetrice, prin considerarea structurii reale a stratului intermediar și a discontinuităților petrofizice documentate.
4. Extinderea cercetărilor în zonele limitrofe (România, Ucraina).

REFERINȚE:

1. Геология СССР. *Том XLV, Молдавская ССР*. «Недра». Москва, 1969.
2. СЛЮСАРЬ, Б. *Юрские отложения северо-западного Причерноморья*. «Штиинца», Кишинев, 1971.

3. TELFORD, W., GELDART, L., & SHERIFF, R. *Applied Geophysics (2nd ed.)*. Cambridge University Press, 1990.
4. РОМАНОВ,Л.,ЕНЗИНА,Л.*Объяснительная записка к стратиграфической схеме юрских отложений МССР*. 1967.
5. ГУРТОВЕНКО, В. *Отчет о результатах рекогносцировочных геофизических исследований глубинного геологического строения южной и центральной частей Молдовы методом обменных волн землетрясений (МОВЗ)*. Кишинев, 1994.
6. ГУРЕВИЧ, Г., БУТАКОВСКИЙ, Б. *Составление сводных сейсмогеологических карт и трансформация гравитационного поля по центральному Причерноморье*. «ТГФ». Киев, 1963.
7. JURAVLE, D. *Geologia României. Vol. I. Geologia terenurilor Est-Carpatice* (Platformele și Orogenul Nord-Dobrogean). Ed. Stef, Iași, 2009. ISBN 978-973-1809-55-7.

N.B. *Lucrarea este efectuată în cadrul Subprogramului de cercetare GeoSeism cu codul 01.09.01 și proiectului „Delimitarea ariilor de perspectivă în scopul prospecțiunilor de hidrocarburi din sudul Republicii Moldova cu scopul asigurării independenței energetice”, cu cifrul 23.70105.7007.11.*

РЕСУРСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МОЛДОВЫ

SURFACE WATER RESOURCES OF MOLDOVA

CZU: 556.16(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.81**

Николай АРНАУТ
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: arnaut@yahoo.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Константин МОРАРУ
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: cmoraru@yahoo.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Елена МАТВЕЕВА
ORCID: 0009-0007-0073-6113
E-mail: elenamatveeva196124@gmail.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Любовь ВЭТЭМАНУ
ORCID: 0009-0001-1088-3236
E-mail: liubaturcan18@gmail.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The surface water resources of the Republic of Moldova were studied. The study of these resources and their critical assessment were carried out based on data for the period 1945 - 2019. The information was synthesized and an assessment of the uncertainty of the distribution of surface water resources is presented. It is shown which data are statistically reliable and can be used in scientific research and for practical purposes.*

Keywords: *surface water, resources, Republic of Moldova.*

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсы поверхностных вод – это то количество воды, которое определяет существование гидрографической сети за счет атмосферных осадков и подземных вод. Ресурсы могут быть представлены как естественный годовой слои стока рек

с учетом величин испарения и инфильтрации в подземные воды. Для Республики Молдова поверхостные воды являются важной составляющей общих доступных водных ресурсов (включая подземные). Изученность этих ресурсов представляет методический, практический и научный интерес. Также данные о ресурсов позволяют определиться с запасами поверхностных вод и методологии их использования (запасы всегда меньше чем водные ресурсы). Нами приведены сведения как определялись ресурсы поверхностных вод и какова степень их достоверности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использованы опубликованные и архивные материалы по изучению ресурсов поверхностных вод в пределах Республики Молдова [1-15]. Для периода 2016-2019 гг. ресурсов поверхностных вод рассчитывались современными методами [16]. Картографический материал и его интерпретация осуществлялась при помощи программного комплекса Surfer 19. Общая подготовка и обработка материала произведена в среде Microsoft Office 21.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследование стока малых рек Молдовы до 1990 года тесно связано с изучением рек территории быв. УССР (Украина). Оценка стока по территории быв. УССР впервые была выполнена Зайковым Б.Д. в 1946 г. Автором была создана карта-схема изолиний модуля стока, величина которого, по его данным, колеблется от 1 л/с до 3 л/с с 1 км^2 [2].

В 1948 г. Мокляк В.И. повторяет исследования стока поверхностных вод на территории быв. УССР и создает свою карта-схему изолиний модуля стока [2]. Величина изолиний модуля стока для Молдовы изменяется от 0.5 - 1.0 л/в секунду с 1 км^2 до 2.0 л/ в секунду с 1 км^2 [2]. Эта оценка стока, также как и предыдущая, является очень приближенной и недостаточной для точных расчетов.

Для территории Молдовы оценка модуля стока выполнена в 1949 г. Работа была представлена в виде карты стока и служила приложением к методическим рекомендациям по проектированию, строительству и эксплуатации колхозных водоемов. Карта была разработана коллективом научных сотрудников Института гидрологии и гидротехники АН УССР под руководством А.В. Огиевского [12]. В связи с отсутствием на территории Молдовы наблюдений за стоком малых рек изолинии модуля стока были показаны пунктиром. Эта карта прослужила около 15 лет в качестве приближенного документа для проектных работ в республике Молдова.

В 1951 г. профессор Воскресенский К.П. [2] исследовал сток рек Европейской части СССР. В рамках этой фундаментальной работы автор приводит карту модуля стока исследуемой территории. По данным автора [2] модуль стока рек в пределах территории Молдовы изменяется примерно в пределах 1.0 - 3.0 л/сек с 1 км^2. Необ-

ходимо отметить, что такая оценка была вероятностной и основывалась на данных небольшого объема исходных материалов.

Онуфриенко Л.Г. [13] исследовал модуль стока и изменчивость рек Украины и Молдовы. Исследования показали, что величина модуля стока в пределах Республики Молдова колеблется от 0.2 л/сек с 1 км^2 на юге до 2.0 л/сек с 1 км^2 в северной части. Также выявлено, что модуль стока малых рек не увеличивается с высотой местности. Необходимо отметить также, что модуль стока малых рек Молдовы подчиняется региональной закономерности, характерной для всей исследованной территории.

В 1972 г. Зеленин И.В. [3] изучил естественные ресурсы подземных вод Молдовы. В этой работе автор анализировал данные величин естественного годового слоя стока рек Днестровско - Прутского междуречья по карте Онуфриенко Л.Т. и Кононенко Н.И. [13]. С этой карты слой стока составляет интервал 0.2 - 2.0 л/сек с 1 км^2. Также видно, что величина стока закономерно уменьшается с севера на юг территории.

Онуфриенко Л.Г. [12] на основе характеристик водных ресурсов Украины и Молдовы, разработал свой вариант карты. Расположение изолиний модуля стока на этой карте мало отличалось от карты Железняка И.А. Позднее Онуфриенко Л.Г. дважды корректировал свою карту модуля стока. Она была опубликована в монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР». Эта карта также вошла в Атлас Молдавской ССР. Среднемноголетние расходы этих рек не превышают 1 м^3/сек или соответствуют значениям слоя стока 10 - 50 мм.

Значительный вклад в исследование стока рек Молдовы был сделан Лалыкиным Н.В. Этим исследователем были разработаны три карты стока рек Молдовы. Первая карта была создана в 1984 г. и опубликована [7]. Из нее следует, что величина изолиний модуля стока изменяется от 0.3 л/с. км^2 до 1.75 л/с. км^2. Особенностью этой карты является наличие в нижней и верхней частях карты территории Молдавии прерывистых изолиний. Эти особенности свидетельствуют об отсутствии на этих участках территории данных измерений на гидрологических пунктах наблюдений. Тем не менее, данная карта позволяет оценить величину модуля стока. В целом, изолинии на указанной карте не согласуются явно с предыдущими картами. Возможной причиной этих отклонений может быть недостаточность данных стока между картой 1988 г. [6] и картой 1984 г. [7]. Возможно, это обусловлено использованием более длинных рядов гидрологических наблюдений. Кроме того, были использованы методические уточнения, связанные с влиянием на сток антропогенных факторов гидрологических измерений на пунктах наблюдений. Различия также могут быть из-за увеличения количества изолиний модуля стока.

Вторая карта-схема изолиний слоя стока (в мм) и зональных значений доли подземного питания была опубликована автором в 1988 г. [6]. Изолиния слоя стока на карте в северной части Молдавии проведена пунктирной линией из за отсутствия гидрололологических данных наблюдений. Значения стока оценивались путем

экстраполяции с прилегающей территории Украины. Кроме того, не были учтены климатические и орографические условия территории Молдавии. В связи с этим, значения величины стока оценивались как приближенные. Тем не менее, эта карта в течении 15 лет служила при выполнении водохозяйственных и других проектных работ.

Исследования распределения стока малых рек Молдовы были выполнены Лалыкиным Н.В. также в 1990 г. Это третья из опубликованных автором картосхем распределения по территории величины годового стока [6], составленная с учетом данных наиболее продолжительных наблюдений на гидрологических пунктах. Согласно этой картосхеме, величина модуля стока изменяется от 20 тыс. $м^3/км^2$ до 70 тыс. $м^3/км^2$, (0.6 л/сек/$км^2$ - 2.1 л/сек/$км^2$, К = 33.35). Такие же примерно оценки нормы стока получены в [5]. Отмеченные данные Лалыкина Н.В. сопоставимы с результатами картографических значений стока других авторов.

Научный интерес представляет также карта изолиний слоя стока Сластихина В.В. и др. [13]. Эта карта была создана для использования рек с площадью водосборов более 200 $км^2$. Согласно этой картосхеме, диапазон изолиний слоя стока на территории Молдовы изменяется от 10 мм на крайнем юго-востоке до 75 мм на севере.

Важным вкладом в методику расчета стока и картирования является новый генетический метод Бефани А.Н. и Мельничука О.Н. [1]. В основу указанного метода положен дифференцированный расчет слоя стока по двум составляющим питания рек, включающих поверхностный и подземный сток. По мнению авторов [1], генетический метод лучше отражает процесс формирования речного стока. Кроме того, он дает также надежный и точный расчет слоя стока. Указанный метод впервые в Молдове использовали Казак В.Я. и Лалыкин Н.В. [5] в 2005 г. Указанный метод заслуживает положительной оценки как надежного и достаточно точного расчета слоя годового стока. В то же время оценка определения этим методом зонального (климатического) слоя является весьма сложной, с наличием некоторых погрешностей. По данным, полученным по этой методике, была составлена изолиния слоя стока. Из нее следует, что слой годового стока территории Молдовы изменяется с севера на юг от 60 мм до 16 мм [13]. Следует также отметить, что данные слоя стока малых рек Молдовы, выполненные, Казак В.Я. и Лалыкиным Н.В., представленны в книге [9]. Согласно этим данным, слой стока малых рек равен 1.06 $км^3$, что сопоставимо с ранее приведенными величинами данных Сластихина В.В. и др. Для расчетов автор использовал данные лишь 34 гидрологических пунктов наблюдений. Близкое значение к выше отмеченным величинам слоя стока рек Молдовы получено и авторами [6].

Морару К.Е. и соавторы [15] в период 2016-2019 изучили условия формирования естественных ресурсов подземных вод территории Молдовы 17-ю различными междунородно признанами методами. В рамках этих исследований были определены ресурсы поверхностных вод в виде слоя стока также различными ме-

тодами. Осредненные данные представлены в Таблице 1. Наиболее современной карта-схемой изолиний климатического слоя стока (мм) является карта-схема Беженару Г.И., Мельничука О.Н. [14] составленная 2020 г. Для оценки слоя стока авторы использовали наиболее полные данные гидрологических измерений на пунктах наблюдений. Согласно авторам этой карта-схемы величина слоя стока колеблется в пределах от 20 мм/год до 100 мм/год. Для оценки величины слоя стока рек Молдовы Беженару Г.И. и Мельничук О.Н. использовали генетический метод Бефани А.Н. и Мельничука О.Н. Для количественной оценки слоя стока авторами были использованы 40 пунктов гидрологических наблюдений.

Ниже в табличной форме приведены расчетные данные по естественному стоку на территории Республики Молдова по данным всех авторов, занимающихся этой проблемой на исследуемой территории за различные временные периоды (таб. 1), а также данные климатического речного стока на территории Республики Молдова (таб. 2). На рис. 1 представлена зависимость среднего значения модуля стока (M_o) и слоя стока (Y_o) от порядковых номеров, указанных в таблице 1 авторов. Как видно из указанной зависимости (рис. 1), наиболее заметные неравномерные изменения модуля и слоя стока проявляются в временных периодах 1 - 4.

Таблица 1. Данные естественного речного стока на территории Республики Молдова

№	Автор и год	Модуль стока, M_o, л/с км^2	Слой стока, Y_o, мм	Среднее значение, M_o	Среднее значение, Y_o
1	Зайков Б.Д., 1946	1.0 - 3.0	31.50 - 94.5	2.0	63.00
2	Мокляк В.И., 1948	0.5 - 2.0	15.75 - 63.0	1.25	39.37
3	Воскресенский К.П., 1951	1.0 - 3.0	31.50 - 94.5	2.00	63.00
4	Онуфриенко Л.Г., 1966	0.2 – 2.0	6.30 - 63.0	1.10	34.65
5	Зеленин И.В., 1972	0.2 – 1.5	6.30 - 47.25	0.85	26.65
6	Онуфриенко Л.Г., 1978	0.31 – 1.58	9.76 - 49.77	0.94	30.00
7	Лалыкин Н.И., 1984	0.3 – 1.75	9.45 - 55.12	1.02	32.13
8	Лалыкин Н.И., 1988	0.47 - 1.90	14.8 - 59.85	1.18	37.17
9	Лалыкин Н.И., 1990	0.6 - 2.1	18.9 - 66.15	1.35	42.52
10	Сластихин В.В., 1993	0.31 - 2.38	9.76 - 31.50	1.34	42.21
11	Морару К.Е. и др., 2019	0.97 – 2.23	30.48-70.16	1.60	50.32

Примечание: для порядковых номеров (1-7,11) величина M_o рассчитана по формуле: $M_o = (Y_o/31.5)$;

для порядковых номеров (8-10) величина Y_o рассчитана по формуле: $Y_o = (M_o \times 31.5)$.

Таблица 2. Данные климатического речного стока на территории Республики Молдова

№	Автор и год	Модуль стока, M_o, л/с км^2	Слой стока, Y_o, мм	Среднее значение, M_o	Среднее значение Y_o
1	Казак В.Я., Лалыкин Н.В., 2005	0.63 - 1.90	19.84 - 59.85	1.26	39.84
2	Беженару Gh., Мельничук О.Н., 2020	0.63 - 3.17	19.84 - 99.85	1.90	59.84

Примечание: для порядковых номеров (1-2) величина M_o рассчитана по формуле: $M_o = (Y_o/31.5$



Рисунок 1. Зависимость среднего значения модуля стока (M_o) и слоя стока (Y_o) от порядковых номеров (сплошная линия - (Y_o) и прерывистая линия - (M_o)

ВЫВОДЫ

Анализ отмеченных данных дает основание предполагать, что колебания величин модуля и слоя стока связаны с отсутствием статистически надежных данных гидрологических наблюдений на территории Молдовы. Сток воды малых рек Молдовы формируется за счет атмосферных осадков и подземного питания. Условия формирования стока рек по территории неоднородны. Среднегодовой слой осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток более, чем в 1.5 раза, уменьшаясь соответственно от 560 мм до 370 мм. Условия подземного питания малых рек по территории также различны. Наиболее высокие величины подземной составляющей стока характерны для северной, центральной и приднестровской части республики. К другим особенностям природных условий страны, которые оказывают влияние на условия формирования и режим стока малых рек, относятся высокая инфильтрационная способность почв на водосборах, частые оттепели в зимний период, высокое испарение с поверхности водосборов, значительная расчлененность рельефа территории, карстовые явления. Отмеченные особенности

обуславливают величины и изменчивость количественных характеристик среднего многолетнего расхода воды.

Величина соотношений модуля стока и слоя стока хорошо коррелирует во времени. Это свидетельствует о статистической достоверности анализируемых данных, несмотря на разные периоды исследований. Данные климатического стока коррелируют с данными естественного речного стока. Естественные ресурсы поверхностных вод территории Молдовы имеет детерминистический характер. Точность определения ресурсов поверхностных вод зависит от качества исходного материала и в нашем случае от количества гидрологических и метеорологических постов. Пока, таких точек мониторингового наблюдения в пределах нашей страны – недостаточно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бефани А.Н., Мельничук О.Н. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат //Ер.УкрНИГМИ. Л: Гидрометеоиздат, 1967. Вып. 69, с. 105 - 137.
2. Воскресенский К.П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зон Европейской части СССР. - Л: Гидрометеоиздат, 1951. стр. 57.
3. Зеленин И.В. Естественные ресурсы подземных вод Молдавии. - Кишинев: «Штиинца», 1972. 206 с.
4. Казак В.Я., Лалыкин Н.В. Гидрологические характеристики малых рек Молдовы. - Кишинев, 2005. 208 с.
5. Лалыкин Н.В. Расчет заиления водоемов в Молдавии. - Гидротехника и Мелиорация, 1984, № 6.
6. Лалыкин Н.В. Ресурсы поверхностных вод. Водные ресурсы. - Кишинев: «Штиинца», 1990. стр. 19.
7. Лалыкин Н.В. Расчет нормы годового стока малых рек Молдавии. //Тр. Укр.НИГМИ. Л., 1988. Вып. 228, с. 74 - 82.
8. Никора В.И. Арнаут Н.А., Науменко Ф.М. Факторы формирования русел малых рек Молдовы и их типизация. Кишинев. 1991. 51 с.
9. Никора В.И., Арнаут Н.А., Науменко А.М. Факторы формирования русел малых рек Молдовы и их типизация. Препринт. - Кишинев, 1991. 54 с.
10. Норма и изменчивость годового стока рек Украины и Молдавии. Водные ресурсы и баланс вод Украины и Молдавии. //Труды. Выпуск 64. Л: Гидрометеоиздат, 1966. стр. 3 - 18.
11. Огиевский А.В. Колхозные пруды. - К., 1949.
12. Онуфриенко Л.Г. Норма изменчивости годового стока Украины и Молдавии. //Тр. УкрНИГМИ, 1966. Вып. 64. стр. 3 - 93.
13. Сластихин В.В. Картографирование нормы годового естественного стока

на территории Молдовы. //Научные труды НИИ водных проблем и мелиорации. Том. 1. - Кишинев, 1993. стр. 50 - 53.
14. Bejenaru Gh., Melniciuc O.N. Resursele de apa ale republicii Moldova. - Chisinau, 2020. 338 p.
15. Морару К.Е. и др. Условия формирования и региональная оценка естественных ресурсов подземных под (на примере Республики Молдова). – Отчет, Институт геологии и сейсмологии, Кишинёв, 2020, 300 с.

Благодарности: *Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Государственной исследовательской программы Республики Молдова, код 010902 Молдавского государственного университета по теме «Комплексные геолого-гидрогеологические и геохимические исследования по разработке подземных хранилищ природного газа в центрально-западной части Республики Молдова (теория, методология и технико-экономическое обоснование), 2024-2027».*

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

NATURAL GROUNDWATER RESOURCES OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 556.3(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.82**

Константин МОРАРУ
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: cmoraru@yahoo.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Николай АРНАУТ
ORCID: 0000-0001-5902-470X
E-mail: arnaut@yahoo.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Елена МАТВЕЕВА
ORCID: 0009-0007-0073-6113
E-mail: elenamatveeva196124@gmail.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Любовь ВЭТЭМАНУ
ORCID: 0009-0001-1088-3236
E-mail: liubaturcan18@gmail.com
Институт геологии и сейсмологии, Молдавский Государственный Университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The natural groundwater resources on the territory of the Republic of Moldova were studied. For the numerical determination of the resources, 18 independent methods were used, which are applied in different countries and have international recognition. A critical analysis of the results is presented. Cluster analysis and the principal components method allowed to obtain a generalized formula for data averaging. The values of groundwater resources were mapped and their reliability was assessed.*

Keywords: *groundwater, resources, Republic of Moldova.*

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсы и запасы подземных вод различные по понятию гидрогеологические определения. Ресурсы – это то количество воды, которое проникает в водоносный горизонт и обеспечивает его существование. Частью ресурсов являются запасы подземных вод, которые могут быть использованя при определенных условиях. В виду особой значимости подземных вод для территории Молдовы, определение их ресурсов указывает на детальную гидрогеологическую изученность данной территории и служит для компетентного планирования регионального и местного использования подземных вод для нужд страны. Также такие данные необходимы при различных научных исследованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучаемой территории авторами выполнена оценка естественных ресурсов подземных вод 17-ю самостоятельными методами: 1 – метод местного минимума [1]; 2 – фиксированного интервала [1]; 3 – скользящего интервала [1]; 4 – однопараметрический алгоритм [1]; 5 – двухпараметрический алгоритм [1]; 6 – трехпараметрический алгоритм [1]; 7 – алгоритм Линие и Холлика [1]; 8 – алгоритм Чампмана [1]; 9 – фильтр Фарей и Гупма [1]; 10 – фильтр Ечкхардта [1]; 11 – фильтр EWMA [1]; 12 – метод баланса [2]; 13 – метод PART (SUA) [3]; 14 – метод RORA (SUA) [4]; 15 – метод Воскресеноского [5]; 16 – метод меженных расходов [6]; 17 – метод WTF [7]. Математико-статистические параметры рассчитывались приложениями Excel 2021 и SPSS [8]. Метод главных компонент был применен при помощи программного комплекса SPSS [8], картографические модели составлялись в среде SURFER [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Впервые для территории Молдовы (а также в международном аспекте) естественные ресурсы подземных вод определены с применением комплекса известных в настоящее время 17-ю методами. Анализ обобщенных данных показывает, что величина естественных ресурсов подземных вод изменчива в зависимости от территориальной дифференциации природных условий, а также от метода определения. Установлено, что величина ресурсов подземных вод имеет трендовую тенденцию уменьшения с севера на юг. В этом же направлении уменьшаются ресурсы поверхностных вод, количество атмосферных осадков и увеличиваются значения температуры воздуха, испарения и испаряемости.

Каждый метод имеет свои алгоритмические особенности, поэтому не совсем точное совпадение результатов определения ресурсов подземных вод следует принять как нормальное явление. В связи с существенным разбросом величины ресурсов подземных вод как в пределах каждого метода, так и в пространственном отношении, целесообразно рассматривать статистические характеристики по каждому методу. Такой подход позволяет оценить схожесть или отличие между применяемыми

методами. Расчетные значения ошибок репрезентативности асимметрии и эксцесса составляют $m_A = 0.37$ и $m_E = 0.74$. Анализ параметрической статистики показывает, что данные ресурсов подземных вод близки к нормальному закону (закон Гаусса) распределения. В итоге, такой анализ позволяет отметить: а) средние значения ресурсов подземных вод статистически верны и представительны для исследованных речных бассейнов; б) ряды величин среднего значения ресурсов подземных вод статистически однородны и в) предлагается использовать средние значения для сравнительного анализа методов определения естественных ресурсов подземных вод.

Кластерный и факторный анализы использованы для исследования взаимосвязи результатов определения ресурсов подземных вод применяемыми методами [8, 9].

Кластерный анализ четко выделяет три кластера: 1) методы Lynie, EWMA, PART, Chapman, One, Ihacres, Fixed, Slidind, Two, RORA, Local, Eckhardt, Voskresenski, Mejeni и Furey; 2) метод баланса (I_balanta) и 3) WTF. В первом кластере существуют сильные корреляционные линейные связи. Кластеры 2 и 3 слабо связаны корреляционно с остальными методами.

Первый кластер объединяет методы, основанные на расчленении речного гидрографа, второй – метод баланса воды в речном бассейне и третий – метод, основанный на интерпретации вариаций уровней грунтовых вод. Величины естественных ресурсов подземных вод в пределах выделенных кластеров также различны.

Несмотря на хорошую информативность кластерного анализа в области статистической взаимосвязи исследованных методов, этот способ не позволяет выделить наиболее характерный и репрезентативный метод для исследованной территории. В таком случае, логично найти среднее значение ресурсов подземных вод в первом кластере и принять его как осредненное для каждой гидрологической станции. Полученные данные соответствуют общему региональному тренду изменения естественных ресурсов подземных вод Молдовы. Тем не менее, оценка ресурсов подземных вод по первому кластеру не позволяет оценивать статистический вклад каждого метода в среднее значение и остаются неучтенными данные второго и третьего кластеров. Для такого подхода это существенный недостаток.

Факторный анализ позволяет устранить отмеченные недостатки. Такой анализ [9] выполнен на основе применения метода главных компонент и без вращения факторов. Четко выделяется одна главная компонента – №1, с собственным значением 14.295, составляющая 84.09% от обшей дисперсии и с суммарной дисперсией 84.09%. Остальные компоненты (методы) составляют суммарно 15.01% и незначительно влияют на факторы определявшие главную компоненту.

Исходя их результатов факторного анализа, уравнение расчета естественных ресурсов подземных вод в пределах каждого гидрологического бассейна имеет следующий вид: $R = 0.8409M_1 + 0.06063M_2 + 0.03701M_3 + 0.02356M_4 + 0.01533M_5 + 0.0082M_6 + 0.0038M_7 + 0.0036M_8 + 0.0021M_9 + 0.0015M_{10} + 0.0011M_{11} + 0.0009M_{12} + 0.0007M_{13} + 0.0002M_{14} + 0.0001M_{15} + 0.0001M_{16} + 0.00002M_{17}$, где: $M_{1\text{-}17}$ - значения величины естественных ресурсов, полученные по 17 методам.

В соответствии с этой формулой были рассчитаны региональные естественные ресурсы подземных вод территории Молдовы. Эту формулу можно сократить до M_8 (включительно), т.к. суммарная дисперсия факторов до этого предела составляет 99.298%. Вновь полученные данные также статистически очень близки с величинами первой компоненты или первого метода (метод Local или местного минимума).

Между средним значением ресурсов подземных вод по первому кластеру и ресурсами, рассчитанными по факторному анализу (R) существует статистически сильная линейная корреляционная связь. Это позволяет выделить следующие важные положения: а) региональные ресурсы подземных вод Молдовы соответствуют природным условиям исследуемой территории и статистически являются наиболее вероятностными; б) в случае применения спектра методов определения ресурсов подземных вод для обобщающих значений может быть использован кластерный анализ, а для точных расчетов метод главных компонент факторного анализа.

На рисунке 1 представлена региональная картосхема естественных ресурсов подземных вод.

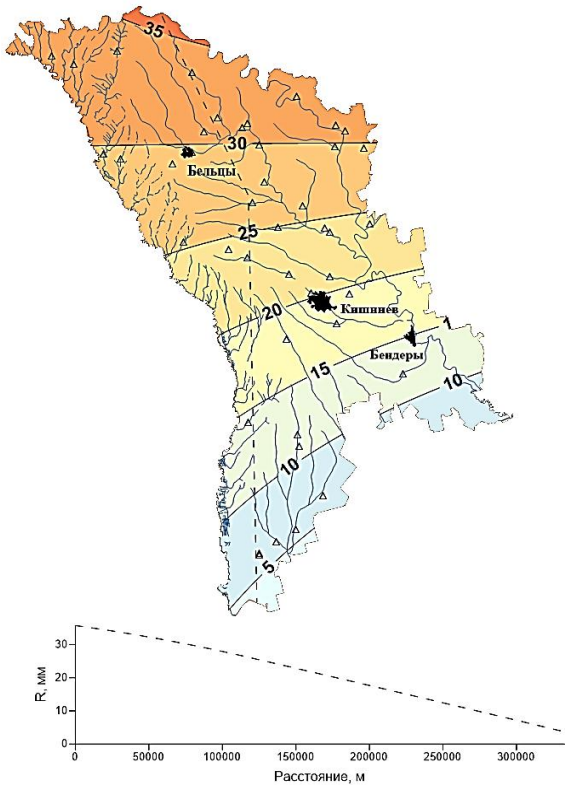


Рис. 1. Картосхема естественных ресурсов подземных вод территории Молдовы (треугольники – местоположение гидрологических станций; изолинии – линии равных значений ресурсов подземных вод, мм; прерывистая линия – линия разреза графика; R – ресурсы подземных вод, мм)

Картосхема построена при помощи программы SURFER [9] с использованием алгоритма полиноминальной регрессии Bi-линейного сглаживания второго порядка. Начальная сетка была задана в виде 174 рядов на 140 столбцов и суммарно состояла из 24360 узловых пересечений.

ВЫВОДЫ

1. Методически, существующие методы оценки естественных ресурсов подземных вод несовершены и не универсальны. Для избежания формирования убеждения об единственном верном конечном результате, целесообразно использовать несколько методов оценки ресурсов подземных вод. При этом выбранные методы должны различаться по алгоритму и исходным данным (например, Балансовый и RORA методы). Сравнение полученных результатов необходимо производить методами геостатистики при условии приведения данных к одинаковой плоскости (или в одинаковых точках).

2. Для исследуемой территории оценка естественных ресурсов выполнена с применением 17-ти самостоятельных методов. По величине арифметического среднего значения (при условии нормального закона распределения) естественных ресурсов подземных вод наименьшие величины характерны для фильтра Фарей и Гумпа (метод BFI) $\bar{æ}$ = 12.34 мм и наибольшее – фильтр скользящего интервала (метод BFI) $\bar{æ}$ = 33.85 мм. Использование кластерного анализа показывает, что на дендрограмме, на уровне расстояний 10 и меньше, выделяются три кластера: 1) методы Lynie, EWMA, PART, Chapman, One, Ihacres, Fixed, Slidind, Two, RORA, Local, Eckhardt, Voskresenski, Mejeni и Furey; 2) метод баланса (I_balanta) и 3) WTF. В первом кластере существуют сильные корреляционные линейные связи. Кластеры 2 и 3 слабо связаны корреляционно с остальными методами.

Несмотря на хорошую информативность кластерного анализа в области статистической взаимосвязи исследованных методов, этот способ не позволяет выделить наиболее характерный и репрезентативный метод для исследованной территории. Факторный анализ, на основе применения метода главных компонент и без вращения факторов, позволяет устранить отмеченные недостатки. Рассчитана совокупная дисперсия для 17-и методов. Исходя их результатов факторного анализа, предложено уравнение расчета естественных ресурсов подземных вод на основе вклада каждого метода в совокупную дисперсию.

3. Региональная оценка естественных ресурсов подземных вод территории Республики Молдова обоснована специальными расчетами и представлена в виде цифровой картографической модели. Метод картирования – полиноминальная регрессия Bi-линейного сглаживания второго порядка. Этот метод выделяет на карте интервальные значения естественных ресурсов в виде слоя стока в мм.

Выявлена зональность в пространственном распределении естественных ресурсов подземных вод. Значения ресурсов уменьшаются с севера, северо-востока

на юг, юго-восток от 35.00 мм 5.0 мм. В этом же направлении увеличиваются значения температуры воздуха и испарения, и уменьшаются значения атмосферных осадков и речного стока.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *BFI-Software for baseflow separation from a hydrogram*, 2013. In: <https// hydrooffice.org/>.
2. ЗЕЛЕНИН, И.В. *Естественные ресурсы подземных вод Молдавии*. Кишинев: Штиинца, 1972, 214 с.
3. RORABAUGH, M.I. Estimating changes in bank storage fnd ground-water contribution to streamflow. *Extract of publication,* no. 63 of the I.A.S.H. Symposium Surface Waters, 1964, p. 432-441.
4. RUTLEDJE, A.T. Computer programs for describing the recession of groundwater discharge and for estimating mean groundwater recharge and discharge from streamflow records (update). *Water resources investigation report 98-4148*. USGS, USA, 1998, 52 p.
5. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, К.П. Опыт разработки методики прогнозов меженного режима рек Европейской части СССР. *Труды ГГИ*, вып. 10. Л.: Гидрометеоиздат, 1940, с. 21-43.
6. ФИЛИППОВА, И.А. *Минимальный сток рек Европейской территории России и его оценка в условиях ухудшения климата*: автореф. дисс. кандидата географических наук Москва, 2014, 27 с.
7. HEALY, R.W.; COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, v. 10, №. 1, 2002, p. 91-110.
8. *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 22)*. <www.ibm.com/us-en/ marketplace/spss-statistics> (as 22.11.2017).
9. SURFER, ver. 11.6.1159 (64-bit). https://www.goldensoftware.com/.

Благодарности: *Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Государственной исследовательской программы Республики Молдова, код 010902 Молдавского государственного университета по теме «Комплексные геолого-гидрогеологические и геохимические исследования по разработке подземных хранилищ природного газа в центрально-западной части Республики Молдова (теория, методология и технико-экономическое обоснование), 2024-2027».*

ACTIVITATEA ANTIOXIDANTĂ A LICHIDELOR IONICE FORMATE CA URMARE A INTERACȚIUNII CARNITINEI CU ACIZII ALIMENTARI

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF IONIC LIQUIDS FORMED AS A RESULT OF THE INTERACTION OF CARNITINE WITH FOOD ACIDS

CZU: 544.431.133:615.322 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.83**

Iolanta BĂLAN
ORCID: 0000-0002-8704-1344
E-mail: ibalan02@yahoo.com; iolanta.balan@usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Mikhail GORBACIOV
ORCID: 0009-0005-3058-5497
E-mail: mikhailgorbaciov778@gmail.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Natalia GORINCIOI
ORCID: 0000-0003-4529-9061
E-mail: ngorinchoy@yahoo.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Olga MOROZ
ORCID:0009-0005-4441-5683
E-mail: olga.moroz@usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*Using the DFT B3LYP method, it was shown that the high-energy tautomer of carnitine is responsible for the realization of its reaction with food acids and that the product of this reaction is the ionic pair formed by a protonated zwitterion of carnitine and a food acid anion - [Carnitine]$^{+}$[food acids]$^{-}$. Antioxidant activity of the studied ionic liquids in their reaction with the stable cation-radical ABTS$^{+\bullet}$ is determined by the anions of food acids.*

Keywords: *atioxidant activity, carnitine tautomers, food acids, DFT calculations.*

INTRODUCERE

Carnitina (acid β-hidroxi-γ-N-trimetilaminobutiric sau butirat de 3-hidroxi-4-Ntrimetilamoniu) este un aminoacid cu o grupare hidroxil în poziția C-3 și o grupare trimetilamoniu în poziția C-4. La fel ca mulți aminoacizi și derivații lor, carnitina există sub forma a doi izomeri (enantiomeri): L- și D-carnitina. L-carnitina joacă un rol major în metabolismul lipidic și energetic. În corpul uman, rolul principal al L-carnitinei este de a transporta acizii grași cu lanț lung în mitocondrii, unde sunt utilizați pentru a produce energie. L-carnitina este, de asemenea, implicată în metabolismul oxidativ peroxizomal și servește ca cofactor pentru diferite reacții enzimatice. În același timp, carnitina are și proprietăți antioxidante datorită capacității sale de a capta peroxidul de hidrogen și radicalii superoxid (vezi [1]).

Cu toate acestea, proprietățile antioxidante ale L-carnitinei pot fi îmbunătățite semnificativ prin formarea unor derivații ai săi. Spre exemplu carnitina, fiind un zwitterion stabil, este capabilă să formeze săruri cu acizi organici, care sunt și ei înșiși antioxidanți. În acest caz, zwitterionul carnitinei este protonat și formează cation, iar reziduul acid acționează ca anionul corespunzător. De regulă, activitatea antioxidantă a sării rezultate depășește semnificativ activitatea antioxidantă totală a componentelor originale. Astfel, în lucrarea [2] a fost dezvoltată metoda experimentală de sinteză a sărurilor antioxidante, care a constat într-o reacție simplă de protonare directă a unei forme zwitterionice de L-carnitină cu un acid alimentar antioxidant adecvat (în metanol). Sărurile obținute în [2], existente în condiții normale ca lichide ionice, prezintă într-adevăr o activitate antioxidantă ridicată în testele cu radicalii liberi $ABTS^{+\bullet}$ și $DPPH^{\bullet}$.

Însă problema mecanismului reacției de protonare a carnitinei a rămas nerezolvată în [2]. Singura încercare de a descrie transferul de protoni de la moleculele acizilor fenolici alimentari la zwitterionul carnitinei a fost schema prezentată în [2], conform căreia protonul se transferă de la gruparea carboxil neionizată a acidului alimentar la gruparea carboxil zwitterionică ionizată a carnitinei.

METODE COMPUTAȚIONALE

Calculele structurii geometrice și electronice ale tuturor sistemelor moleculare studiate au fost efectuate prin metoda DFT/B3LYP folosind setul de baza 6-31G(d) pentru orbitalii atomici. Toate calculele au fost efectuate luând în considerare solventul (apă, metanol sau etanol) pe baza opțiunii IEFPCM a pachetului de program Gaussian09 [3].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În această lucrare s-a studiat cuanto-chimic (folosind metoda DFT/B3LYP) activitatea antioxidantă a lichidelor ionice formate ca urmare a interacțiunii carnitinei [CRN] cu acizii alimentari ([PRO] -protocatecuic, [GEN] -gentizic, [GAL] -galic, [COU] -cumaric, [CAF] -cafeic, [SYR] -sirungic) folosind exemplul interacțiunii acestora cu cationul radical stabil $ABTS^{+\bullet}$.

În lucrarea [4], s-a arătat că interacțiunea moleculelor de acid alimentar cu zwitterionul de carnitină are loc cu participarea formei tautomerice a carnitinei, care are o energie mai mare (vezi Figura 1 și 2).

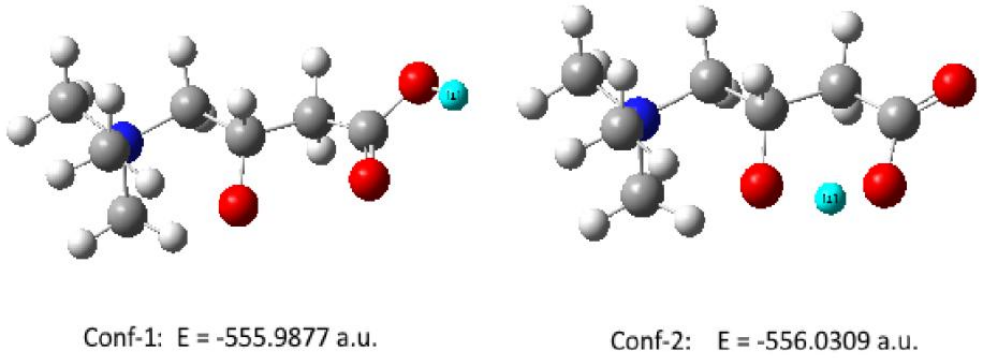


Figura 1. Structurile optimizate ale principalelor forme tautomerice ale carnitinei

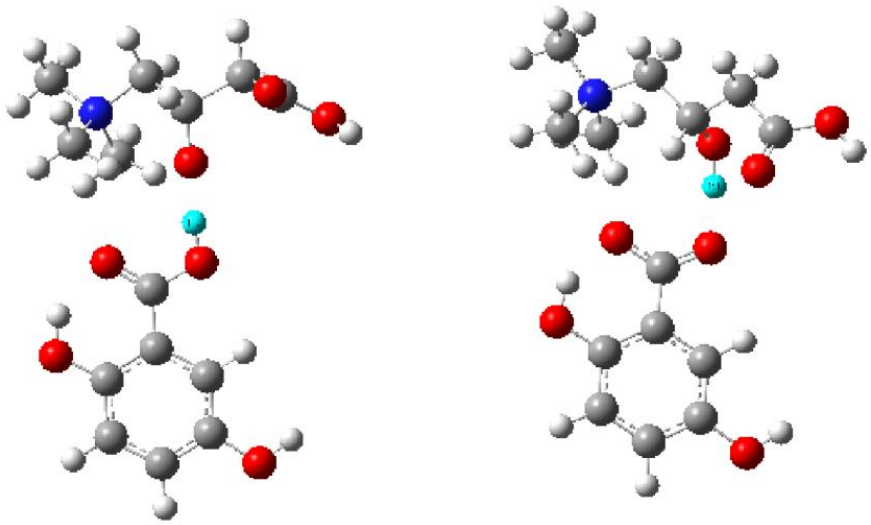


Figura 2. Geometriile inițiale și finale ale complexului [carnitină și acid gentisic]: formarea perechilor ionice

În acest caz (după transferul unui proton de la moleculele de acid alimentar la zwitterionul de carnitină), anionii acizi din perechile de ioni rezultați se leagă de cationul carnitinei protonate prin intermediul atomului de oxigen aparținând grupării hidroxil a carnitinei. Anterior, în lucrarea [5], s-a stabilit că cationul radical $ABTS^{+\bullet}$ interacționează exclusiv cu anionii acizilor alimentari (dar nu și cu moleculele lor neutre).

Astfel, întrucât perechile de ioni ale lichidelor ionice studiate constau dintr-un cation de carnitină protonat și anioni acizi, a fost evident că anionii acestor perechi de ioni vor interacționa cu radicalul cationic $ABTS^{+\bullet}$. Cu toate acestea, interacțiunea acestor anioni cu radicalul cationic $ABTS^{+\bullet}$ se poate realiza în două moduri:

1) Interacțiunea cu acești anioni după disocierea perechilor de ioni în soluție;

2) Interacțiunea cu acești anioni care rămân în structura perechilor de ioni corespunzătoare.

În primul caz, numărul de anioni (și, în consecință, activitatea antioxidantă EC_{50}) ar trebui determinat (corelat) cu valorile pKa ale acizilor neionizați. Datele prezentate în Tabelul 1 confirmă pe deplin această presupunere.

Tabelul 1. Corelarea activităților antioxidante ale lichidelor ionice studiate cu valorile pKa ale acizilor alimentari precursori

Nr.	***Ionic Liquid:***	***$ABTS^{+\bullet}$ EC_{50} (μM)****	***pKa****
1.	$[CRN]^+[PRO]^-$	11,86	4,49
2.	$[CRN]^+[GEN]^-$	3,87	2,98
3.	$[CRN]^+[GAL]^-$	4,20	3,13
4.	$[CRN]^+[SYR]^-$	7,72	3,93
5.	$[CRN]^+[COU]^-$	11,32	4,64
6.	$[CRN]^+[CAF]^-$	8,65	4,04
7.	$[CRN]^+[FER]^-$	5,45	3,58
8.	$[CRN]^+[SIN]^-$	5,69	3,41

*- datele au fost preluate din lucrarea [2];

**- valorile pKa (la T = 293,15-298,15 K și P = 0,1 MPa) au fost preluate din Ref. [6,7].

În al doilea caz, activitatea antioxidantă a lichidelor ionice studiate (perechile lor de ioni) va fi cu atât mai mare, cu cât sarcina negativă a anionului inclus în structura perechii de ioni este mai mare (adică, cu cât momentul dipolar al perechii de ioni studiate este mai mare). Rezultatele calculelor noastre cuanto-chimice efectuate arată că valorile calculate ale momentelor dipolare (vezi Figura 3) prezintă, de asemenea, o corelație clară cu valorile activității antioxidante EC_{50}.

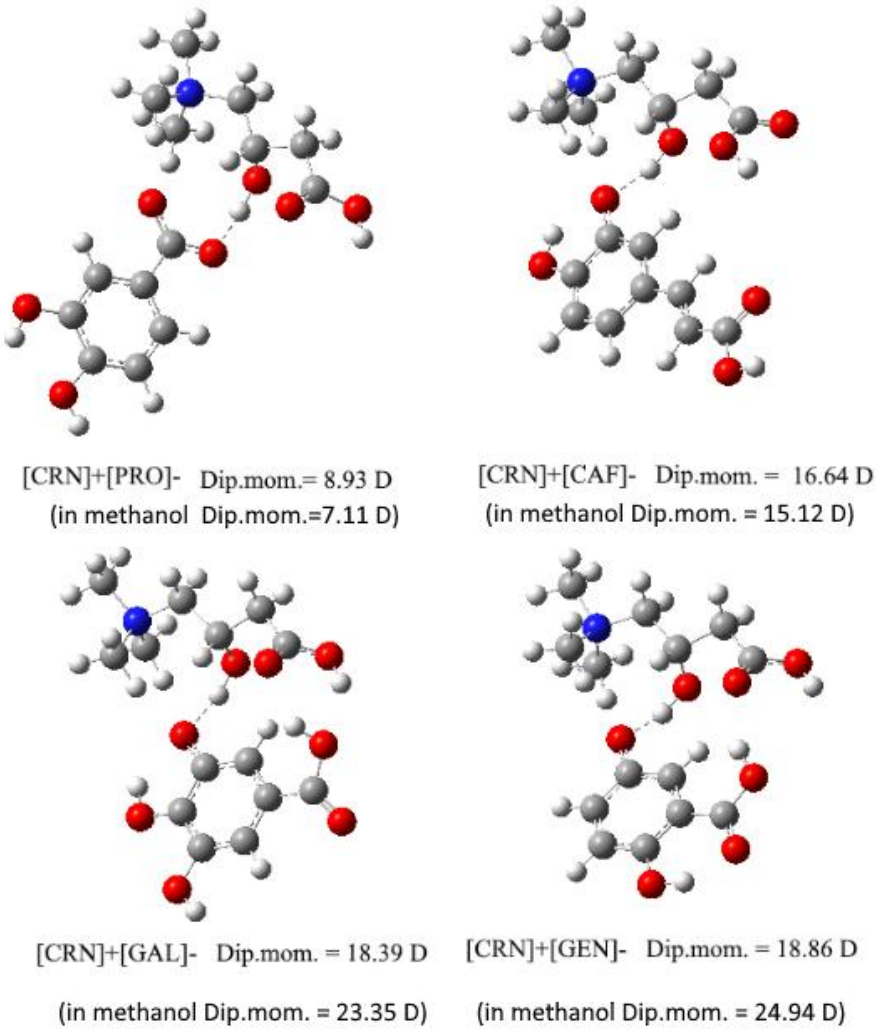


Figura 3. Geometriile optimizate și momentele dipolare calculate pentru unele perechi ionice ale lichidelor ionice studiate

CONCLUZII

Astfel, în baza rezultatelor obținute, se poate concluziona că activitatea antioxidantă a lichidelor ionice studiate în reacția lor cu cation-radicalul stabil $ABTS^{+\bullet}$ este determinată atât de perechile de ioni disociați, cât și de cei nedisociați care formează aceste lichide ionice și, în ambele cazuri, anionii acizilor alimentari (fie liberi, fie incluși în structura perechilor de ioni) interacționează cu cation-radicalul $ABTS^{+\bullet}$.

REFERINȚE:

1. RIBAS, G.S., VARGAS, C.R., WAJNER, M. L-carnitine supplementation as a potential antioxidant therapy for inherited neurometabolic disorders. In: *Gene*, 2014, 533(2), 469e76.
2. CZERNIAK, K., PERNAK, J. L-carnitine-based bio-ionic liquids as antioxidants. In: *Chemistry Select*, 2021, 6, pp. 1994–2001. DOI: https://doi.org/10.1002/slct.202100420.
3. FRISCH, M.J., TRUCKS, G.W., SCHLEGEL, H.B., SCUSERIA, G.E., ROBB, M.A., CHEESEMAN, J.R., et al., Gaussian 09, Revision B.01., 2009, Gaussian, Inc., Wallingford.
4. GORBACHEV, M., GORINCHOY, N., BALAN, I., MOROZ, O. Key role of the high-energy tautomer of carnitine in its reaction with gentisic food acid: DFT Study. In: *International Scientific-Practical Conference ,,Education through Research for a Prosperous Society"*, 12th Edition, March 1-2, 2025, Chisinau, Volume I - Natural Sciences, pp. 132-135.
5. GORBACHEV, M., GORINCHOY, N., BALAN, I. Some particularities of the reaction between antioxidant phenolic acids and the free radical $ABTS^{+\bullet}$: a comparative DFT study for the gas phase and ethanol. In: *Chemistry Journal of Moldova*, 2022, 17(1), pp. 24-30. DOI: http://doi.org/10.19261/cjm.2021.919.
6. PubChem. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov
7. DrugBank. https://go.drugbank.com

N.B. Mulțumiri. *Lucrarea a fost realizată în cadrul subprogramului ,,Cercetări avansate în chimia computațională și ecologică, identificarea procedeelor tehnologice de tratare, formare a calității și cantității apelor." (cod 010603) al Institutului de Chimie al Universității de Stat din Moldova.*

ESTIMAREA PROCESELOR DE AUTOPURIFICARE A APELOR LACULUI DĂNCENI PRIN CONȚINUTUL DE SUBSTANȚE BIOGENE (PERIOADA ANILOR 2015-2024)

ASSESSMENT OF THE SELF-PURIFICATION PROCESSES OF THE WATERS OF LAKE DANCENI THROUGH THE CONTENT OF BIOGENIC SUBSTANCES (PERIOD 2015–2024)

CZU: 574.635:544.165:556.55(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.84**

Vladislav BLONSCHI
ORCID: 0000-0001-8628-6756
E-mail: vlad.blonschi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorica GLADCHI
ORCID: 0000-0002-5847-4466
E-mail: viorica.gladchi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maxim CISTEACOV
ORCID: 0000-0001-6486-616X
E-mail: cisteacov.maxim@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena BUNDUCHI
ORCID: 0000-0003-2275-9918
E-mail: elena.bunduchi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Angela LIS
ORCID: 0000-0002-5286-3356
E-mail: angela.lis@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The main purpose of the research is to estimate the self-purification processes of the waters of Lake Danceni through the concentration of biogenic substances over a period of 10 years. Water samples from the lake were collected seasonally with an intensity of 4-5 times per year according to current methodologies, and the mineral forms of nitrogen and phosphorus were determined by the spectrophotometric method using HACH reagents. According to the obtained data regarding the concentrations of nitrate and ammonium ions, the lake waters fall into quality*

classes II – V, which indicates anthropogenic pollution of the lake. The intensity of the self-purification processes, moderate to low, is confirmed by the values of the calculated nitrification index, which ranges from 41% to 89%. The concentration of phosphate ions indicates a decrease over time in the phenomenon of eutrophication of the lake, from quality class V in 2015 to class III in 2024.

Keywords: *biogenic substances, lake, quality class, self-purification.*

INTRODUCERE

Lacul Dănceni este unul din cele șase lacuri artificiale mari cu suprafața peste 4 km^2 pe teritoriul Republicii Moldova [1]. Numărul limitat al corpurilor de apă, în special a lacurilor mari impune un monitoring a stării ecologice ale acestora pentru utilizarea lor durabilă. Apele lacului Dănceni, construit pe cursul râului Işnovăț, sunt utilizate pentru irigare, piscicultură, suplinirea necesității în apă tehnică, precum și recreere [2].

Dat fiind că apele de suprafață sunt sisteme deschise, în acestea pătrunde un flux mare de substanțe chimice, atât prin procese naturale, cât și antropice. Fluxul acestor substanțe este atenuat de procesele de autopurificare, însă odată cu sporirea cantității de poluanți, intensitatea proceselor de autopurificare scade, îndeosebi din cauza impactului antropic. Dintre poluanții ce pătrund în apele de suprafață sunt și substanțele biogene care nu prezintă toxicitate sporită, dar favorizează dezvoltarea microorganismelor patogene ce dereglează procesele de autopurificare, amplifică procesul de eutrofizare în cazul lacurilor [3]. Monitoringul substanțelor biogene, care provin din apele menajere netratate, scurgeri de la complexele animaliere, ape de șiroire ș.a., în diferite corpuri de apă de pe teritoriul țării a fost realizat de mai mulți cercetători de-a lungul anilor [4-5], inclusiv de autorii acestui articol [6].

Monitoringul substanțelor biogene presupune determinarea diferitor forme de azot (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) și fosfor anorganic (PO_4^{3-}). În ciclul biogeochimic al azotului se evidențiază două procese biochimice importante. Acestea sunt nitrificarea, care convertește azotul din combinațiile organice în ioni de nitrați (ec. 1) și denitrificarea, în care are loc reducerea nitraților până la azot molecular (ec. 2).

$$R - NH_2 \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- \quad (1)$$

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \quad (2)$$

Viteza procesului de denitrificare este cu mult inferioară celei de nitrificare, ce înseamnă prezența formelor minerale ale azotului (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) în compoziția apelor naturale. Dominanța unei forme ale azotului, indirect indică despre intensitatea proceselor de autopurificare [3]. Pentru toate trei forme minerale ale azotului sunt stabilite concentrații maxime admisibile (CMA) [7], totuși pentru evaluarea complexă a stării ecologice sunt propuși indici care evaluează raportul dintre conținuturile tuturor formelor [8].

Un indicator, la fel de important pentru sistemele lentice, este conținutul ionilor e fosfați, care indică gradul de eutrofizare. Conform Hotărârii de Guvern nr. 890 din 12.11.2013 conținutul acestora nu trebuie să depășească 0,5 mg PO_4^{3-}/L [7].

Astfel, scopul prezentei cercetări constă în estimarea proceselor de autopurificare a apelor lacului Dănceni prin conținutul substanțelor biogene pe parcursul a 10 ani de monitorizare.

MATERIALE ȘI METODE

Probele de apă au fost prelevate sezonier din lacul Dănceni (Fig. 1), cu o intensitate de 4-5 ori pe an, conform metodologiilor în vigoare [9].



Figura 1. Harta cu locul de prelevare a probelor de apă din lacul Dănceni [Google Maps]

Pentru determinarea conținutului ionilor de amoniu, nitriți, nitrați și fosfați în probele de apă prelevate au fost folosite metode spectrofotometrice dezvoltate și patentate de compania HACH [10] cu utilizarea spectrofotometrului portabil DR/2000.

Indicele de nitrificare a fost calculat cu ajutorul formulei [11]:

$$I_{nitrif.} = \frac{[N-NO_3^-]}{([N-NO_3^-]+[N-NO_2^-]+[N-NH_4^+])} \cdot 100\%, \text{ unde:} \quad (3)$$

$I_{nitrif.}$ – indicele de nitrificare, %,

$[N\text{-}NO_3^-]$ – conținutul azotului din ionii de nitrați, mg/L,
$[N\text{-}NO_2^-]$ – conținutul azotului din ionii de nitriți, mg/L,
$[N\text{-}NH_4^+]$ – conținutul azotului din ionii de amoniu, mg/L.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În perioada de referință a fost determinat conținutul formelor minerale ale azotului în probele de apă analizate și atribuită clasa de calitate conform acestora (Tab. 1).

Tabelul 1. Dinamica concentrațiilor medii anuale ale formelor minerale de azot și a clasei de calitate în apele lacului Dănceni în perioada anilor 2015-2024

Parametrul / *Anul*	*$C(NO_3^-)$, mg/L*		*$C(NO_2^-)$, mg/L*		*$C(NH_4^+)$, mg/L*	
	Valoarea medie anuală	*Clasa de calitate [7]*	*Valoarea medie anuală*	*Clasa de calitate [7]*	*Valoarea medie anuală*	*Clasa de calitate [7]*
2015	1,53	II	0,006	I	0,30	II
2016	3,35	III	0,006	I	0,46	III
2017	3,66	III	0,024	I	0,46	III
2018	4,60	III	0,021	I	0,29	II
2019	7,06	IV	0,019	I	1,01	IV
2020	1,60	II	0,005	I	0,67	III
2021	4,17	III	0,009	I	0,38	II
2022	1,70	II	0,006	I	0,24	II
2023	15,47	V	0,037	II	0,55	III
2024	2,53	II	0	I	0,61	III

[*Sursa*: date proprii]

Conform datelor privind conținutul de nitrați (Tab. 1), apele lacului Dănceni fac parte din clasele II – V, de calitate, ceea ce corespunde stărilor caracteristice de la ecosistemele acvatice neafectate (anii 2015, 2020, 2022, 2024) până la devieri majore ale valorilor fizico-chimice și biologice de calitate de la fondul natural din cauza activităților umane (anii 2019, 2023).

Datele experimentale ale conținutului de nitriți (Tab. 2) indică o situație ecologică mai favorabilă, astfel că cu excepția anului 2023 (clasa a II-a de calitate – ape afectate ușor de activitatea antropică), apele lacului se încadrează în clasa I de calitate și pot fi caracterizate ca ape de suprafață în care nu există alterări ale valorilor fizico-chimice și biologice de calitate.

Valorile medii ale conținutului ionilor de amoniu (Tab. 1) clasifică apele lacului Dănceni în clasele II – IV de calitate, similar datelor privind conținutul de nitrați. Ținând cont că în compoziția apelor de suprafață este prezent oxigenul dizolvat, starea ecologică satisfăcătoare a apei va fi determinată de intensitatea maximă a procesului de nitrificare (ec. 1), iar conținutul ridicat al ionilor de amoniu indică despre o poluare recentă a acestor ape, cel mai probabil din cauza factorului antropic.

Cu ajutorul datelor experimentale (Tab. 1) a fost calculat indicele de nitrificare, valorile căruia au variat de la 41% (anul 2020) la 89% (anul 2023) (Fig. 3).

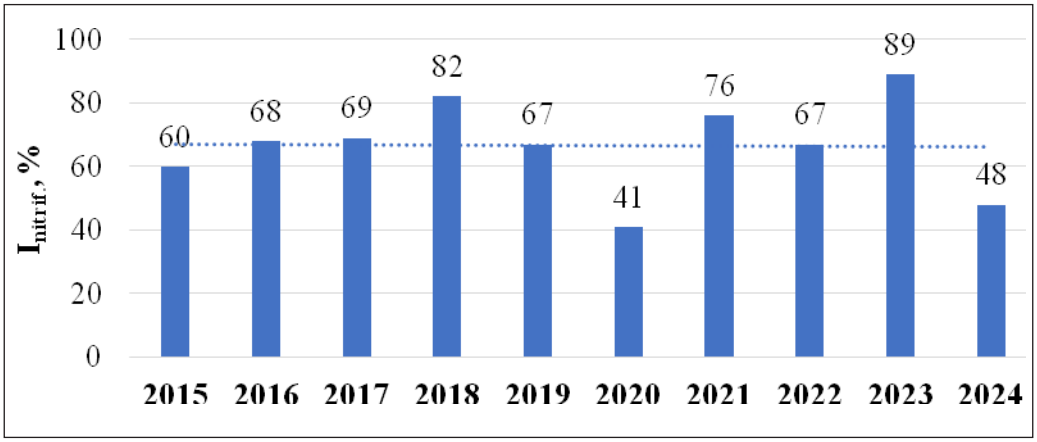


Figura 3. Valorile calculate ale indicelui de nitrificare [*Sursa*: datele proprii]

Valorile ridicate ale indicelui de nitrificare caracterizează intensitatea nitrificării ionilor de amoniu. Astfel cu cât indicele de nitrificare este mai apropiat ca valoare de 100% cu atât intensitatea proceselor de autopurificare biologică este mai mare. Datele obținute sunt similare celor raportate pentru alte lacuri de pe teritoriul țării [11], totodată comparând rezultatele cu date similare pentru alte corpuri de apă [3] se concluzionează că intensitatea proceselor de autopurificare în apele lacului Dănceni este scăzută.

Datele experimentale obținute ale concentrației ionilor de fosfați denotă o diminuare, pe parcursul perioadei de realizare a monitorizării, de la 1,79 mg/L în anul 2015 la 0,17 mg/L în anul 2024 (Fig. 4).

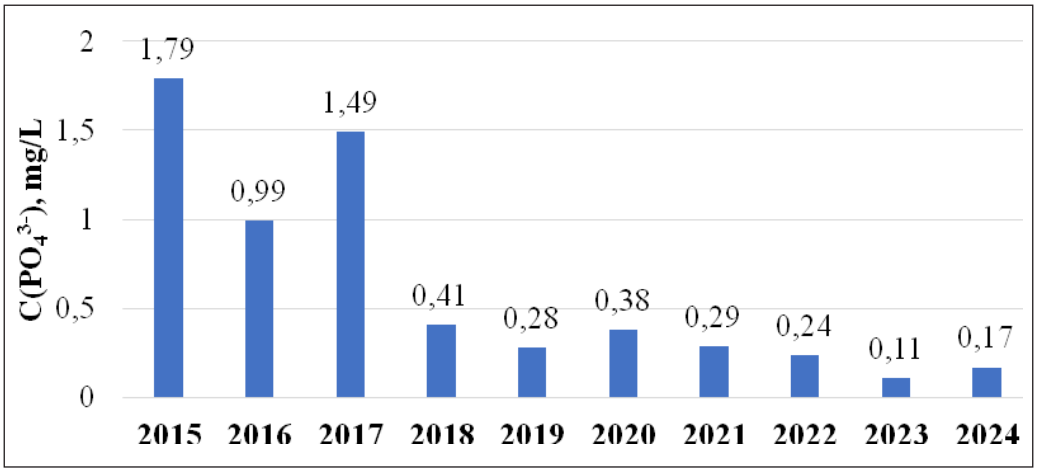


Figura 4. Dinamica concentrațiilor medii a ionilor de fosfați în apele lacului Dănceni, în perioada anilor 2015-2024 [*Sursa*: datele proprii].

Clasa de calitate s-a modificat de la a V-a în anul 2015 la a III-a în anul 2024, respectiv pe parcursul celor 10 ani fenomenul de eutrofizare a încetinit.

CONCLUZII

Estimarea intensității proceselor de autopurificare biologică a apelor lacului Dănceni prin conținutul substanțelor biogene și anume a formelor minerale ale azotului denotă că aceasta este relativ scăzută.

Concentrațiile ridicate ale ionilor de amoniu și nitrați indică despre o poluare antropică a lacului, clasificând apele acestuia în clasele de calitate II – V.

Indicele de nitrificare calculat variază de la 41% la 89%, ceea ce indică despre o capacitate relativ scăzută de nitrificare a ionilor de amoniu, totodată se observă o variația sezonieră firească a formelor minerale ale azotului.

Conform concentrației ionilor de fosfați, în decursul a 10 ani de măsurări a fost înregistrată o diminuare a fenomenului de eutrofizare a apelor lacului Dănceni.

REFERINȚE:

1. Biroul național de statistică al Republicii Moldova. Anuarul statistic al Republicii Moldova, ediția 2024. Disponibil: https://statistica.gov.md/files/files/publicatii_electronice/Anuar_-Statistic/2024/Anuarul%20_statistic_2024.pdf [Accesat: 27.05.2025].
2. BLONSCHI, V., GLADCHI, V. Aprecierea stării redox a lacurilor Ghidighici și Dănceni prin prezența tiolilor în perioada anilor 2015-2021. În: *Integrare prin cercetare și inovare*: materialele Conferinței științifice naționale cu participare internațională, 10-11 noiembrie 2022. Chișinău: Editura USM, 2022, p. 194-196.
3. ШАРОВ, А.Ю., ЧЕСНОКОВА, С.М., ТРИФОНОВА, Т.А. Оценка уровня загрязнения воды, процессов нитрификации и самоочищения от ионов аммония в малом водотоке Илевны. В: *Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Химия, биология, экология*. 2017. Т. 17, вып. 4. с. 469-474. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-4-469-474.
4. SANDU, M., TARITA, A., LUPASCU, T., DRAGALINA, G., MOSANU, E. Impact of ethanol, methanol and sulfides on the nitrification process of ammonium ions in natural waters. In: *Present Environment and Sustainable Development*, 21 noiembrie 2020. Iași: Editura Universităţii „Alexandru Ioan Cuza" din Iași,, 2020, Ediția 15, p. 40-41.
5. ȘALARU, V., DUDNICENCO, T., TINCU, A. Troficitatea unor lacuri din municipiul Chișinău. În: *Studia Universitatis. Seria Ştiinţe ale naturii*. 2007. nr. 1, p. 196-199. ISSN 1857-1735.
6. GLADCHI, V., BUNDUCHI, E., GOREACEVA, N. Compoziţia chimică a apelor din bazinul Nistrului Inferior (anul 2015). În: *Integrare prin cercetare*

și inovare.: Ştiinţe ale naturii și exacte, 28-29 septembrie 2016. Chișinău: CEP USM, 2016, pp. 183-186.

7. Hotărâre de Guvern nr. 890 din 12-11-2013 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la cerinţele de calitate a mediului pentru apele de suprafaţă. Disponibil: https://www.legis.md-/cautare/getResults?doc_id=143696&lang=ro [Accesat: 02.06.2025].
8. SHAKHMAN, I., BYSTRIANTSEVA, A. Water quality assessment of the surface water of the southern bug river basin by complex indices. In: *Journal of Ecological Engineering*. 2020. vol. 1, issue 1, 195-205. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/128858.
9. SM EN ISO 5667-6:2017 Calitatea apei. Prelevare. Partea 6: Ghid pentru prelevările efectuate în râuri şi alte cursuri de apă.
10. *Water Analysis Handbook, 7th ed.* HACH Company: Loveland, CO, USA, 2012. p. 993-999. Disponibil: https://cdn.hach.com/7FYZVWYB/at/8t9cjm2xh7k32rkz5k8t96qp/DOC0865-301000.pdf [Accesat: 03.06.2025].
11. SANDU, M. *Indicii de calitate a apelor. Studii de caz: Apele din Republica Moldova (Ghid ştiinţifico-practic).* Chișinău: Primex-Com, 2019. 67 p. ISBN 978-9975-3319-6-8.

N.B. *Lucrarea a fost efectuată în cadrul proiectului 010603 ,,Identificarea Procedeelor Tehnologice de Tratare, Formare a Calității și Cantității Apelor și Cercetări Avansate în Chimia Computațională și Ecologică", finanțat de ANCD.*

STERILIZAREA INDUSTRIALĂ A DISPOZITIVELOR MEDICALE DIN MASE PLASTICE CU OXID DE ETILENĂ

INDUSTRIAL STERILIZATION OF PLASTIC MEDICAL DEVICES WITH ETHYLENE OXIDE

CZU: 614.484:547.422.22-31 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.85**

Elena BUNDUCHI
ORCID: 0000-0003-2275-9918
E-mail: elena.bunduchi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Octavian ZARA
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Aliona MEREUȚA
ORCID: 0000-0003-2275-9918
E-mail: aliona.mereuta@ancd.gov.md
Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare, Chișinău, Republica Moldova

Sergey BUZHOR
SRL IUSPAC, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The paper presents a case study conducted at the UISPAC SRL company, specialized in the production and sterilization of plastic medical devices. The study involves mathematical calculations (fractional method with negative results) for the theoretical determination of the minimum sterilization time; establishes and implements on an industrial scale the conditions of the sterility test (time, temperature, humidity, dose of ethylene oxide). The efficiency of sterilization under the established conditions (SAL 10⁻⁶) was confirmed by the results issued by 2 analysis laboratories, one national (ANSP) and the other international (TUV Sud International Laboratory, Italy). The certificates confirm the sterility of the products and that the applied method and the equipment used comply with the requirements set forth by ISO 13485:2016.*

Cuvinte-cheie: *mase plastice oxid de etilenă, polietilenă, polipropilenă, sterilizare.*

INTRODUCERE

Dispozitivele fabricate din mase plastice, datorită variabilității lor, sunt din ce în ce mai utilizate în medicina modernă, necesitând metode eficiente și sigure de sterilizare, care să nu compromită integritatea materialului. Dat fiind faptul că multe dintre articole medicale sunt fabricate din mase plastice, precum polietilenă (PE) și polipropilenă (PP), care sunt sensibile la temperaturi ridicate, există limitări de utilizare a metodelor clasice

de sterilizare termică pentru acestea. O soluție pentru sterilizarea materialelor sensibile la termodegradări este utilizarea, în calitate de agent de sterilizare, a oxidului de etilenă (EtO) [1], tehnologie care este agreată și de organismele internaționale, Organizația Internațională de Standardizare (ISO) [2] și Administrația pentru Alimente și Medicamente (FDA) [3]. Deși oxidul de etilenă are capacitatea de a penetra ambalajele și materialele complexe, asigurând o sterilizare profundă chiar și în cazul obiectelor cu geometrie complicată, totuși, utilizarea acestuia implică riscuri pentru sănătatea umană și pentru mediu, necesitând instalații specializate, procese automatizate și condiții stricte de siguranță [4].

Scopul studiului a fost atingerea performanței microbiologice a procesului de sterilizare cu oxid de etilenă (EtO), aplicat recipientelor pentru recoltarea lichidelor biologice în cadrul secției de sterilizare la UISPAC SRL, utilizând sterilizatorul AXIS 4000.-

MATERIAL ȘI METODE

Recipiente formate prin injecție termoplastică, produse de IUSPAC SRL, cu pereții din polipropilenă (PP) și capac din polietilenă (PE). Dimensiunile geometrice ale produselor: grosimea perete – (0.8 ± 0.1) mm; înălțime recipient – 120 mL; diametru capac – 61.6 mm; masa recipient cu capac – (14.6 ± 1) g;

Utilaj AXIS 4000, fabricat de compania Kordon Tıp, Turcia [5]. Principiul de funcționare: dispozitivele medicale se pun într-o pungă de sterilizare specială (*liner bag*), împreună cu un cartuș de EtO (*doză pre-măsurată, de obicei 100% EtO lichid, sigilat într-un recipient de sticlă mic*), o sursă de umiditate (*„humidity chip" – o microcapsulă ce eliberează vapori de apă pentru a asigura umiditatea optimă*) și un *indicator dozimetric*. Punga sigilată termic se plasează în camera sterilizatorului, se închide camera etanș și se pornește ciclul. Cartușul de EtO este activat printr-un mecanism de perforare și evaporare controlată, declanșat prin apăsarea unui buton dedicat. Gazul EtO este eliberat treptat în interiorul pungii și difuzează prin ambalaj și în obiectele de sterilizat, distrugând toți agenții patogeni (inclusiv sporii bacterieni).

Metoda fracționată cu rezultate negative, metodă matematică de calculare a valorii *D* (*Decimal Reduction Time*) sau timpul minim de sterilizare [6]. Datele necesare pentru calcule sunt obținute prin expunerea a mai multe seturi de indicatori biologici la timpi de sterilizare diferiți; înregistrarea, după incubare, dacă probele sunt fără creștere (negative) sau cu creștere (pozitive) microbiană; utilizarea frecvenței rezultatelor negative pentru a estima letalitatea sterilizării.

Teste de sterilitate, ISO 11737-1:2018 [7] și ISO 11737-2:2019 [8]. Principiul testelor: se introduc probele direct în medii de cultură sterile: tioglicolat de sodiu (pentru bacterii anaerobe și facultative) și triptonă-soia (TSB) (pentru bacterii aerobe și fungi). Mediile lichide sunt incubate în următoarele condiții: 20-25°C pentru fungi (7-14 zile) și 30-35°C pentru bacterii (14 zile).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Este cunoscut că eficiența sterilizării și nivelul reziduurilor rămase pe produs sunt dependente de parametrii procesului de sterilizare: *timpul, temperatura, umiditatea* și *concentrația oxidului de etilenă.* Interdependența acestor parametri necesită monitorizare și reglaj fin pentru evitarea sub-sterilizării sau acumulării excesive de reziduuri.

Pentru stabilirea ***timpului de sterilizare*** practic au fost sterilizate 80 de probe timp de 480 min și cuantificat numărul de probe fără creștere microbiană (Tab. 1).

Aplicând formulele de calcul ale metodei fracționării negative s-a determinat practic timpul minim necesar pentru sterilizarea probelor și obținerea nivelului de asigurare a sterilității de ordinul 10^{-6} UFC. Pentru aceasta au fost efectuate cicluri de sterilizare la diferiți timpi, în intervalul 20-480 min, cu 80 de probe per expunere. S-au calculat timpii medii, modificările proporției de probe sterilizate, contribuțiile individuale ale fiecărui interval și s-a obținut valoarea medie $\bar{D}$ cu ajustarea incertitudinii ($2\sqrt{V}$) pentru un interval de încredere de 95%.

Tabelul 1. Date pentru calcularea valorii *D* cu metoda fracționării negative

Timpul de expunere la sterilizare (min.)	Numărul de probe testate	Numărul de probe fără creștere microbiană	Începutul incubației	Sfârșitul incubației
20	80	0	03.10.2024	05.10.2024
40	80	0	04.10.2024	06.10.2024
80	80	2	05.10.2024	07.10.2024
160	80	35	06.10.2024	08.10.2024
320	80	80	07.10.2024	09.10.2024
360	80	80	08.10.2024	10.10.2024
480	80	80	09.10.2024	11.10.2024

[date proprii]

Media timpurilor de sterilizare a fost determinată pentru 6 valori (x_1-x_6):

$$x_1 = 30\ min;\ x_2 = 60\ min;\ x_3 = 120\ min;\ x_4 = 240\ min;\ x_5 = 340\ min;\ x_6 = 420\ min \quad \textbf{(1)}$$

Rata de schimbarea a proporției de probe sterilizate (y_2-y) constituie:

$$y_2 = 0.025; y_3 = 0.4;\ y_4 = 0.275;\ y_5 = 0.3 \quad \textbf{(2)}$$

Contribuția intervalului de timp la valoarea medie totală calculată este egală cu:

$$\mu_2 = 1.5;\ \mu_3 = 48;\ \mu_4 = 66;\ \mu_5 = 102.$$

$$\mu_{total} = (1.5 + 48 + 66 + 102) = 217.5 \quad \textbf{(3)}$$

Valoarea medie a timpului necesar pentru reducerea cu 1 log a încărcăturii microbiene este $\underline{D} = 34.79$, iar factorul de corecție statistic pentru estimarea variației metodei constituie **a = 34.79**. Varianța asociată determinării valorii *D* calculată: $V = 1.24$ $V = 1.24$. Valoarea finală a lui $D_{calculat}$ luând în considerare incertitudinea este: $D_{calculat} = 37.02\ min.$

Având în vedere că pentru atingerea performanței microbiologice este necesar ca nivelul de sterilitate să atingă ordinul 10^{-6} UFC (*unități formatoare de colonii*), a fost stabilită valoarea SRL, *reducerea logaritmică a contaminării microbiene* (*Sterility Log Reduction*)*:*

$$SLR = log(N_0) - log(N_t)) \quad \textbf{(4)}$$

$$SLR = log(10^6) - log(10^{-6}) = 12 \quad \textbf{(5)}$$

unde: N_0 – concentrația inițială standardizată de microorganisme, 10^6 UFC; N_t – concentrația finală teoretică a microorganismelor viabile, 10^{-6} UFC.

Astfel, timpul mediu necesar pentru sterilizare este:

$$T_{min} = D_{calculat} \cdot SLR = 37.02 \cdot 12 = 444\ min \quad \textbf{(6)}$$

După stabilirea timpului minim de sterilizare au fost puse în aplicare programe de sterilizare. S-a experimentat, utilizând două programe: ***program complet*** (propus de producător) și ***program redus*** (calculat teoretic, T_{min} = 444 min).

Programul complet reprezintă un ciclu de 16 ore (2 ore de condiționare + 12 ore de sterilizare + 2 ore de ventilație). Astfel, opt saci cu containere pentru recoltarea lichidelor biologice au fost încărcați în sterilizator, în fiecare sac a fost plasat a câte un indicator biologic. Durata incubației: 03.10.2024- 10.10.2024 (Tab. 2).

Tabelul 2. Condițiile experimentului cu Program complet

Nr. Sac	Indicator biologic	Încărcătură (completă)	Începutul incubației	Sfârșitul incubației	Reproducere
1	1	Container pentru recoltarea lichidelor biologice	03.10.2024	05.10.2024	X
2	1				X
3	1				X
4	1		04.10.2024	08.10.2024	X
5	1				X
6	1				X
7	1		08.10.2024	10.10.2024	X
8	1				X

[date proprii]

X - *simbol utilizat pentru a indica absența reproducerii microbiene (bacteriană, fungică sau de altă natură) după perioada de incubație.*

1- **Indicator biologic**, *dispozitiv care conține o cantitate definită de spori bacterieni, extrem de rezistenți la procesul specific de sterilizare. Pentru sterilizarea cu oxid de etilenă, microorganismul standard este* ***Bacillus atrophaeus (anterior Bacillus subtilis subspecia niger)****.*

Programul redus (jumătate din programul complet) reprezintă un ciclu de 8 ore (2 ore de condiționare + 4 ore de sterilizare + 2 ore de ventilație). Capacitatea de încărcare a sterilizatorului a fost similară celei de la programul complet. Durata incubației fiind cuprinsă între 04.10.2024 și 11.10.2024 (Tab. 3).

Tabelul 3. Condițiile experimentului cu Program redus

Nr. Sac	**Indicator biologic**	**Încărcătură (completă)**	**Începutul incubației**	**Sfârșitul incubației**	**Reproducere**
1	1	Container pentru recoltarea lichidelor biologice			X
2	1		04.10.2024	06.10.2024	X
3	1				X
4	1		07.10.2024	09.10.2024	X
5	1				X
6	1				X
7	1		08.10.2024	11.10.2024	X
8	1				X

[date proprii]

Au fost utilizați 48 de indicatori biologici introduși în sacii cu containerele pentru recoltarea lichidelor biologice, inclusiv Bacillus atrophaeus, cunoscută ca cea mai rezistentă bacterie la gazul EtO. În perioada testelor nu a fost observată reproducerea microbiană nici pentru unul dintre programele aplicate. Totodată, s-au comparat cei trei parametri critici pentru procesul de sterilizare *temperatura, umiditatea* și *concentrația oxidului de etilenă* pentru procesele de sterilizare fără (figurile1-3) și cu încărcătura de 8 saci, cu a câte 250 bucăți de containere fiecare (figurile 4-6), pentru *programul complet* și pentru *programul redus (jumătate de program)*.

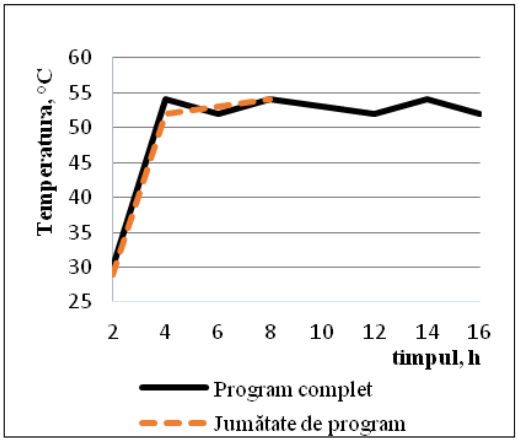


Figura 1. Variația temperaturii în interiorul sterilizatorului gol în funcție de timp.
Condiții: [EtO] = 882 mg·h/L; Rh = 56%

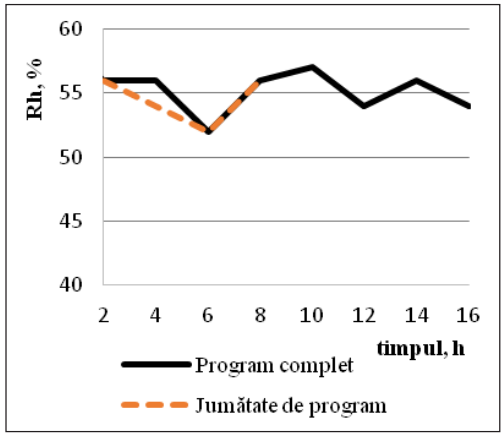


Figura 2. Variația umidității în interiorul sterilizatorului gol în funcție de timp.
Condiții: [EtO] = 882 mg·h/L; t = 53°C

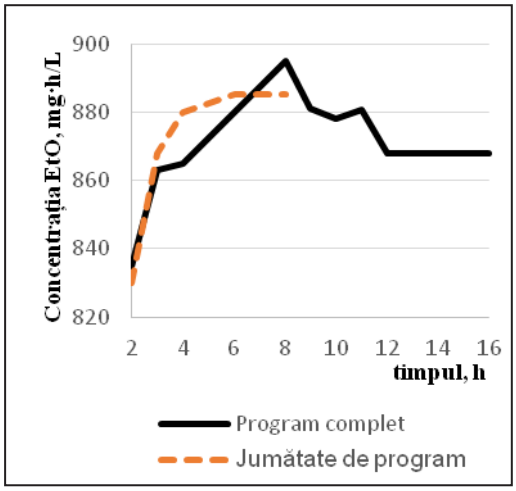


Figura 3. Variația concentrației EtO în interiorul sterilizatorului gol în funcție de timp.
Condiții: t = 54°C; Rh = 56%

Umiditatea este un parametru critic pentru sporicidie, mai ales în prezența sporilor uscați. Dinamica umidității relative redată în figura 2, arată la atingerea rapidă a valorilor necesare (Rh > 35%), sugerând o bună capacitate de umidificare în sterilizatorul gol, esențială pentru activarea eficientă a EtO. Din figura 3 se observă atingerea rapidă a concentrației necesare de oxid de etilenă (EtO), urmată de o fază de platou. Acest grafic confirmă difuzia rapidă și uniformă a gazului în condiții ideale și arată la funcționarea corectă a sistemului de admisie a gazului.

Urmărind dacă produsele încărcate afectează distribuția termică (Fig. 4) s-a con-

statat că aceasta arată o stabilizare ușor întârziată, dar în limite acceptabile. Menținerea temperaturii optime, în acest caz, demonstrează capacitatea echipamentului de a gestiona cicluri reale de sterilizare. Evoluția umidității relative în prezența produselor (Fig. 5) denotă despre scăderi bruște sau întârziate ale umidificării, care pot fi atribuite absorbției umidității de către ambalaje.

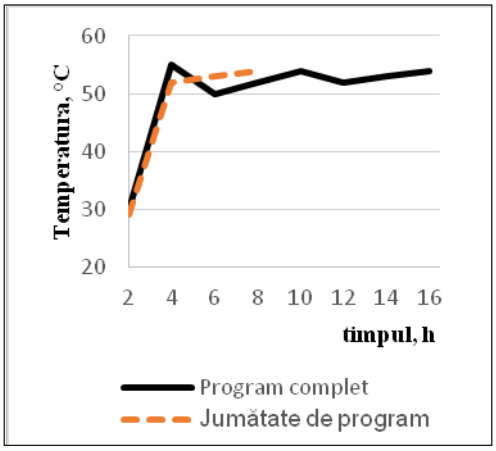


Figura 4. Variația temperaturii în interiorul sterilizatorului încărcat în funcție de timp. Condiții: [EtO] = 882 mg·h/L; Rh = 56%

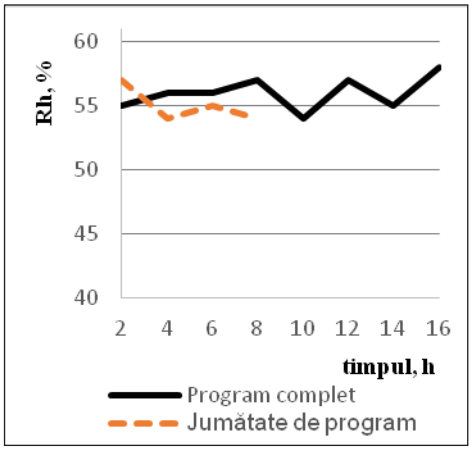


Figura 5. Variația umidității în interiorul sterilizatorului încărcat în funcție de timp. Condiții: [EtO] = 882 mg·h/L; t = 53°C

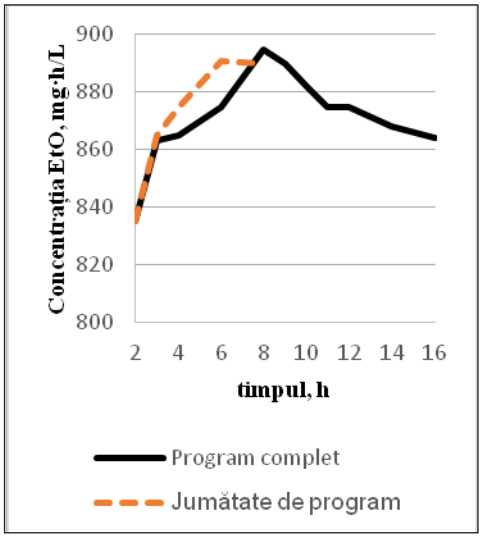


Figura 6. Variația concentrației EtO în interiorul sterilizatorului încărcat în funcție de timp. Condiții: t = 54°C; Rh = 56%

Graficul este esențial pentru validarea etapei de condiționare și demonstrarea eficienței cipului de umiditate. Dependențele grafice din figura 6 expun rezultatele evaluării influenței încărcăturii asupra dispersiei gazului și confirmă capacitatea EtO de a difuza printre produsele ambalate și de a atinge o concentrație letală uniformă. O creștere ușor mai lentă comparativ cu cea reflectată de figura 3 este normală, dar atingerea unui platou stabil este crucială.

Calculele teoretice și rezultatele experimentale au condus la stabilirea parametrilor critici pentru procesul de sterilizare (Tab. 4).

Tabelul 4. Parametri critici de proces

Parametrul	Valoare standard	Toleranță
Temperatura	50 ± 3 °C	[47 – 53 °C]
Umiditate relativă	45 ± 10%	[35 – 55%]
Doză EtO	480–750 mg·h/L	min. 480 mg·h/L
Timp expunere	180 – 240 min	min. 180 min
Timp aerare	≥ 8 ore la 50 °C	până la EtO < 10 ppm

[date proprii]

Produsele sterilizate au fost supuse controlului eficienței sterilizării în cadrul Laboratorului Microbiologic al Agenției Naționale pentru Sănătate Publică (ANSP). Producătorul, planificând certificarea CE a dispozitivelor medicale, a expediat în Laboratorul internațional TUV Sud, Italia spre testare recipiente pentru colectarea lichidelor fiziologice sterilizate în sterilizatorul AXIX 4000. Laboratorul european a confirmat, la fel ca și laboratorul național, că produsele sunt sterile și că metoda aplicată și utilajul folosit sunt conforme cerințelor înaintate de ISO 13485:2016 [9].

CONCLUZII

1. Au fost elaborate și validate programe de sterilizare care au permis definirea unui regim optim de sterilizare pentru dispozitivele medicale din mase plastice (polietilenă și polipropilenă) utilizând oxid de etilenă. Parametrii regimului sunt: temperatură de 54 ± 3 °C, umiditate relativă de 45 ± 10%, doză EtO de 480-750 mg·h/L, timp de expunere de 180-240 min și timp de aerare de minimum 8 ore la 54 ± 3 °C.

2. Eficiența regimului de sterilizare stabilit a fost confirmată prin analize microbiologice efectuate în laboratoare acreditate național și internațional. Rezultatele obținute au demonstrat conformitatea produselor cu cerințele specificate în standardele internaționale ISO aplicabile.

3. Pe baza rezultatelor experimentale a fost elaborată o procedură operațională standard (SOP) pentru procesul de sterilizare cu oxid de etilenă, destinată aplicării industriale în cadrul întreprinderii UISPAC SRL, utilizând echipamentul AXIS 4000.

REFERINȚE:

1. McDONNELL, G. *Antisepsis, Disinfection, and Sterilization: Types, Action, and Resistance,* 2012, 432 p. (2nd ed.) Washington, DC: ASM Press. ISBN 978-1-555-81967-5
2. ISO 11135:2014 Sterilization of health-care products – Ethylene oxide – Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. Disponibil: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11135:ed-2:v1:en [Accesat septembrie 2024]
3. FDA - Guidance for Industry and FDA Staff: Enforcement Priorities for EtO Sterilization. Disponibil: https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/transitional-enforcement-policy-ethylene-oxide-sterilization-facility-changes-class-iii-devices [Accesat septembrie 2024]
4. Ethylene Oxide - Guidelines and Limits. In: *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*. Disponibil: https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1047 [Accesat septembrie 2024]
5. Kordon Tıp – Ethylene Oxide Sterilizers. Disponibil: https://www.kordontip.com/en/products-2/ethylene-oxide-sterilizers/ [Accesat septembrie 2024]
6. Moruzzi, G., Lou, Y., Fritz, R. Decimal reduction value (D) from fraction negative experiments via maximum likelihood estimation: An enabling spreadsheet and its implications on methodology and current standards. In: *Journal of Food Process Engineering*, 2022, nr. 45(2). doi.org/10.1111/jfpe.14164
7. ISO 11737-1:2018 Sterilization of health care products – Microbiological methodos. Part 1: Determination of a population of microorganisms on products. Disponibil: https://www.iso.org/standard/66451.html [Accesat ianuarie 2025]
8. ISO 11737-2:2019 Sterilization of health care products – Microbiological methodos. Part 2: Tests of sterility performed in the definition, validation and maintenance of a sterilization process. Disponibil: https://www.iso.org/standard/70801.html [Accesat ianuarie 2025]
9. ISO 13485:2016 Medical devices – Quality management systems – Requirements for regulatory purposes. Disponibil: https://www.iso.org/standard/59752.html [Accesat ianuarie 2025].

COMPLEX MACROCICLIC AL Co(II) ÎN BAZA 2,6-DIACETILPIRIDINEI ȘI A DIHIDRAZIDEI ACIDULUI OXALIC

MACROCYCLIC COMPLEX OF Co(II) BASED ON 2,6-DIACETYLPYRIDINE AND OXALIC ACID DIHYDRAZIDE

CZU: 546.73:547.461.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.86**

Olga DANILESCU
ORCID: 0000-0001-9090-7164
E-mail: olgadanilescu@gmail.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova; Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Polina BOUROȘ
ORCID: 0000-0002-3418-531X
E-mail: bourosh.xray@gmail.com
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maria COCU
ORCID: 0000-0001-8572-0258
E-mail: maria.cocu@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova;

Ion BULHAC
ORCID: 0000-0001-9090-7164
E-mail: ionbulhac@yahoo.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*Using the template method, a new 20-dentate macrocyclic hydrazone ligand, obtained from 2,6-diacetylpyridine and oxalic dihydrazide, was synthesized. The deprotonation-protonation process of the polydentate macrocycle Schiff base ligand in the coordination compounds of Co(II) was studied as a method for synthesizing a new tetranuclear macrocyclic complex. The chemical composition and molecular structure of the macrocyclic complex were determined by IR spectroscopy and single crystal X-ray diffraction.*

Keywords: *Cobalt(II), macrocyclic complex, tetranuclear, Schiff base, IR spectroscopy, X-ray diffraction.*

INTRODUCERE

În prezent, interesul științific pentru compușii coordinativi cu liganzi macrociclici

este într-o ascensiune evidentă. Liganzii macrociclici și complecșii acestora fiind foarte apropiați de unele sisteme biologice naturale, precum vitamina B_{12}, hemoglobina, clorofila. Ei imită specii biologice naturale, cum ar fi inelele porfirinice din hemoglobină și clorofilă, sau macrociclul corinic din componența vitaminei B_{12}, motiv pentru care sunt considerați bio-liganzi, iar complecșii corespunzători - biocomplecși. Aceasta similitudine structurală și funcțională între complecșii macrociclici naturali și cei sintetici conferă acestor sisteme o arie largă de aplicabilitate.

Ele se remarcă prin proprietăți farmaceutice și biomedicale importante, fiind implicați în realizarea biosenzorilor, cataliza scindării ARN-ului, detecția dopaminei, precum și prin activitate biologică diversificată: antibacteriană, antifungică, anticanceroasă, antitumorală, antioxidantă, antiinflamatoare și antifertilitate [1]. De asemenea, acești compuși prezintă un potențial considerabil în aplicații electrochimice [2].

Deși istoria compuşilor macrociclici sintetici începe în urmă cu aproape un secol, cercetările recente indică o renaștere a interesului științific în domeniul complecșilor cu liganzi macrociclici. Acest segment al chimiei coordinative continuă să se afle într-o etapă incipientă de explorare [3]. Proprietățile și aplicabilitatea diversă a complecșilor macrociclici atrag tot mai mult atenţia specialiștilor din diverse domenii ale științei şi tehnologiei. Această atenție se datorează particularităţilor structurale distincte şi proprietăţilor fizico-chimice specifice, care stau la baza utilizării acestor compuși în calitate de catalizatori, materiale magnetice, semiconductoare, dielectrice, reagenţi analitici, coloranţi, precum şi substanțe cu potențial aplicativ în biotehnologie.

Este cunoscut faptul că complecșii macrociclici sunt sisteme cu contur închis, formate din nouă sau mai mulţi atomi, iar sinteza acestui tip de compuși este funcţie de mai mulţi factori: natura reactanților și a ionilor metalici, condiţiile și mediul de reacție ș.a. În multe cazuri, reacțiile de ciclizare nu decurg simplu, deoarece în prezența agenților de coordinare polifuncţionali, pot avea loc reacţii de policondensare, soldate cu formarea de polimeri aciclici sau oligomeri. O altă dificultate constă în realizarea reacțiilor de ciclizare în același raport molar, dar în proporții diferite [1+1, 2+2, 3+3 ş.a.], precum și în posibilitatea autocondensării unei singure molecule de substanţă iniţială [4]. Asamblarea templată a agenților de coordinare pe matricea ionilor metalici rămâne una dintre metodele clasice și eficiente de obținere a complecșilor macrociclici.

Acest material include etapele de sinteză, precum și studiul spectral și structural al unui complex tetranuclear al Co(II) cu structută macrociclică, obținut în baza ligandului 20-dentat de tip bază Schiff. Analiza literaturii de specialitate și consultarea Bazei de Date Structurale Cambridge (BDSC) [5] relevă faptul că, până în prezent, nu au fost înregistrați complecși macrociclici ai Co(II) cu liganzi de tip baze Schiff, fiind descriși doar complecși tetranucleari ai Co(II), care conțin liganzi de origine dihidrazidică [6].

MATERIAL ȘI METODĂ

Spectrele IR au fost înregistrate utilizând spectrometrul FTIR Spectrum-100 Perkin-Elmer, în intervalul 400-4000 cm^{-1}, sub formă de suspensie în ulei de vaselină, pre-

cum și în intervalul 650-4000 cm^{-1} prin metoda ATR, în cadrul Institutului de Chimie al USM.

Analiza prin difracția razelor X pe monocristal pentru complexul studiat a fost realizată cu ajutorul difractometrului X Calibur E, echipat cu detector CCD și monocromator de grafit, utilizând radiație MoKα în Laboratorul Metode Fizice de Studiere a Solidului „T.I. Malinowski" al Institutului de Fizică Aplicată al USM.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Strategia de sinteză a compușilor coordinativi macrociclici ai Co(II) are la bază obținerea, *in situ*, a unui ligand de tip bază Schiff cu structură macrociclică, format prin reacția de condensare, în condiții de reflux, între 2,6-diacetilpiridină (*Dap*) și dihidrazida acidului oxalic (*DAO*), în mediu alcoolic. Reacția are loc în prezența ionilor Co^{2+}, într-un raport molar 4:4:4, ceea ce a condus la formarea complexului tetranuclear $[Co_4(H_8L)(NCS)_8]\cdot 8H_2O$ (**1**), caracterizat printr-o arhitectură macrociclică bine definită. Prin tratarea complexului **1** cu o soluție amoniacală (25%) - până la apariția mirosului persistent de amoniac – s-a obținut complexul $[Co_4(H_4L)(NCS)_4(H_2O)_8]\cdot 12H_2O$ (**2**), sub formă de sediment cristalin de culoare cărămizie, rezultat din transformarea complexului inițial, care prezintă o culoare verde intens. Ulterior, tratarea complexului **2** cu H_2SO_4 în mediu de metanol a condus la obținerea compusului coordinativ macrocilic tetranuclear $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8\cdot 12H_2O$ (**3**) (Figura 1).

Sinteza complexului **3,** cu o structură macrociclică de tip [4+4], a fost posibilă prin aplicarea unei strategii de auto-asamblare templată a substanțelor reactante, urmată de un proces de deprotonare-protonare a ligandului macrociclic. Această metodă de sinteză, simplificată și eficientă, a fost utilizată cu succes și în practica de laborator pentru obținerea unei serii noi de complecși mononucleari ai Co(II) cu liganzi de tip baze Schiff [7].

Pentru determinarea și confirmarea compoziției chimice, a structurii moleculare și cristaline a complecșilor **1-3,** a fost utilizată spectroscopia IR (Tabelul 1). În cazul compusului macrociclic **3,** obținut sub formă de monocristale, structura acestuia a fost elucidată prin difracția razelor X pe monocristal (Tabelul 2).

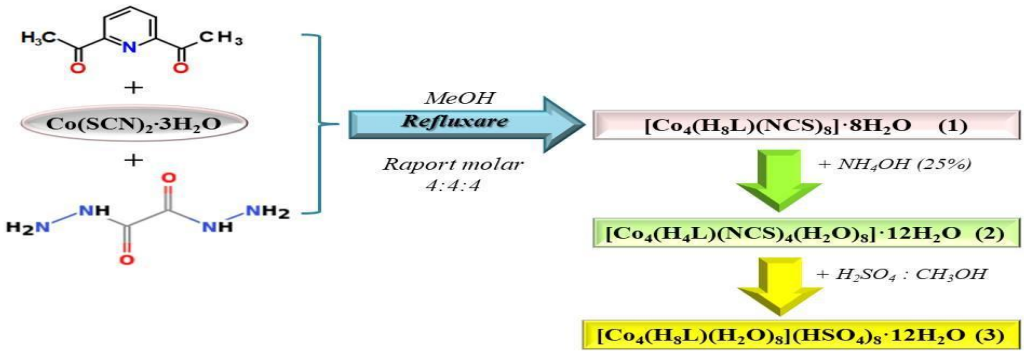


Figura 1. Schema de obținere a complexului macrociclic $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8\cdot 12H_2O$ (**3**)

În spectrul IR al compusului **1,** în regiunea 3600-2600 cm^{-1}, se evidențiază benzi intensive și late, atribuite vibrațiilor de valență asociate $\nu(OH)_{asociată}$ + $\nu(NH)$. O bandă foarte intensă, localizată la 2061 cm^{-1}, corespunde oscilațiilor de valență $\nu(C\equiv N)$, indicând prezența grupărilor tiocianat coordinate. Coordinarea ligandului în formă sa cetonică este confirmată de apariția banzii la 1630 cm^{-1}, atribuită vibrațiilor de valență $\nu(C=O)_{coordinată}$. De asemenea, benzile observate la 1525, 1517, 1506 cm^{-1} sunt caracteristice vibrațiilor $\nu(C=C)_{arom.}$ + $\delta(NH)$, confirmând structura propusă a complexului (1).

Tabelul 1. Benzile spectrelor IR caracteristice pentru compușii coordinativi **1-3**

Compusul coordinativ	Spectrul IR (ν, cm^{-1})
$[Co_4(H_8L)(NCS)_8]\cdot 8H_2O$ (**1**)	3392 m, 3183 m, 2729 s, 2061 f.i, 1630 m, 1567 m, 1525 i, 1433 m, 1376 m, 1333 s, 1271 m,1207 i, 1164 s, 1061 s, 1019 m, 998 s, 917 s, 858 m, 808 i, 739 m, 671 s, 597 s, 534 m, 480 s, 452 s.
$[Co_4(H_4L)(NCS)_4(H_2O)_8]\cdot 12H_2O$ (**2**)	3176 m, 2988 m, 2064 i, 1583 u, 1555 i, 1500 i, 1420 m, 1371 m, 1315 m, 1268 f.i, 1198 m, 1144 m, 1049 m, 1019 m, 997 m, 864 s, 804 m, 739 s, 722 s, 681 s, 645 s, 619 s, 572 s, 540 s, 455 s, 417 s.
$[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8\cdot 12H_2O$ (**3**)	3214 m, 1637 i, 1571 s, 1522 i, 1464 s, 1439 m, 1378 s, 1321 s, 1271 m, 1206 f.i, 1167 f.i, 1093 f.i, 1075 f.i, 1049 f.i, 1019 i, 979 u, 919 s, 855 m, 815 m, 779 s, 744 s, 722 m, 673 s, 634 u, 609 m, 587 m, 532 s, 449 s.

Intensitatea relativă a benzii de absorbție: f. i – foarte intensivă, i – intensivă, m – medie, s – slabă, u – umăr.

În spectrul compusului **1,** frecvențele corespunzătoare oscilațiilor de deformare ale grupelor metilice se regăsesc la 1433 cm^{-1} pentru $\delta_{as}(CH_3)$ și la 1376 cm^{-1} pentru $\delta_s(CH_3)$. Vibrațiile de deformare planară δ(C-H), specifice grupărilor metilice cu trei atomi de hidrogen alăturați, se evidențiază la 1164 și 1158 cm^{-1}. În regiunea 807 cm^{-1} apar oscilațiile de deformare neplanară δ(C-H), caracteristice acelorași grupări. Benzile de intensitate medie localizate la 534 cm^{-1} și 452 cm^{-1} sunt atribuite oscilațiilor de valență ν(Co-N), respectiv ν(Co-O), indicând prezența interacțiunilor de coordinare metal–ligand. Conturul spectrelor IR ale complecșilor **1** și **2** este în mare parte similar, cu excepția benzii atribuite oscilațiilor de valență $\nu(C\equiv N)$, care în cazul complexului **2** prezintă o intensitate mai redusă. Această diferență spectrală susține ipoteza că, în complexul **2**, un anion NCS^- este coordinat apical la ionul de Co(II), contribuind astfel la modificarea caracteristicilor spectroscopice ale complexului.

În spectrul IR al complexului macrociclic **3**, în regiunea 3600-2800 cm^{-1} se obser-

vă o bandă intensivă și lată, atribuită suprapunerii vibrațiilor de valență ν(OH), ν(NH) și ν(CH). Banda intensivă și lată din jurul valorii de 1637 cm^{-1} indică coordinarea ligandului în formă cetonică, fiind asociată cu oscilațiile de valență $\nu(C=O)_{coordinată}$. De asemenea, banda lată situată la 1522 cm^{-1} poate fi atribuită sumei oscilațiilor $\nu(C=C)_{arom.}$ + δ(NH). Frecvențele oscilațiilor de deformare ale grupei metilice se găsesc la 1439 cm^{-1} pentru $\delta_{as}(CH_3)$ și la 1378 cm^{-1} pentru $\delta_s(CH_3)$, confirmând prezența acestor grupări în structura complexului. În regiunea 1170-1040 cm^{-1} se observă un grup de benzi intense, caracteristice vibrațiilor de valență $\nu(HSO_4^-)$, care confirmă prezența acestuia în sfera externă a complexului. De asemenea, în spectru sunt prezente benzi de intensitate medie-slabă la 532 și 449 cm^{-1}, atribuite oscilațiilor de valență ν(Co-N), respectiv, ν(Co-O), care susțin implicarea atomilor donori ai ligandului în coordinarea cu ionii de cobalt(II).

Compusul coordinativ macrociclic $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8 \cdot 12H_2O$ cristalizează în grupul spațial tetragonal *I*-4_2*m* și reprezintă o structură cristalină de tip ionic. Structura este alcătuită din cationi complecși $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8]^{8+}$, anioni hidrogenosulfat (HSO_4^-) și molecule de apă de cristalizare în sfera externă a complexului, în raport molar 1:8:12. În cadrul cationului complex, atomul Co(1) cu o simetrie 4_2 adoptă o geometrie de tip bipiramidă pentagonală centrosimetrică. Planul ecuatorial este ocupat de cinci atomi donori ai ligadului organic pentadentat (NNNOO), cu simetrie *m*: atomul de azot al heterociclului piridinic central (N3), doi atomi de azot de tip azometinic (N2) și doi atomi de oxigen de natură amidică (O1). În pozițiile apicale sunt coordinate două molecule de apă (Figura 2*a*). Distanțele interatomice din poliedrul de coordinare al atomului Co(1) au următoarele valori: [Co(1)-O(1) = 2,204(4); Co(1)-N(3) = 2,165(12); Co(1)-N(2) = 2,193(8); Co(1)-O(1*w*) = 2,113(11) și Co(1)-O(2*w*) = 2,096(14) Å].

Prezența grupei =NH în structura legăturii amidice, caracteristică ligandului organic de tip bază Schiff, condiționează atât posibilitatea procesului reversibil deprotonare-protonare în molecula ligandului macrociclic, cât și tautomeria ceto-enolică [8]. Studiul structural efectuat a stabilit că, în complexul **3,** ligandul macrociclic este coordinat în formă cetonică, lungimea legăturilor C=O având valori caracteristice legăturilor duble, respectiv 1,206(10) Å.

Analiza geometriei ligandului macrociclic de tip bază Schiff din complexul **3** a demonstrat că, în urma coordinării la cei patru ioni Co(II), se formează 16 metalocicluri cu câte cinci atomi. Opt dintre acestea sunt constituite din setul de atomi OCNNCo, iar celelalte opt - din setul NCCNCo. Cele patru fragmente ale ligandului macrociclic, coordinate individual la centrele metalice prin setul de atomi donori de tip NNNOO, prezintă o geometrie planară. Totuși, între aceste fragmente plane se formează unghiuri de 42,6 și 61,9°, indicând o ușoară distorsiune a întregii structuri macrociclice.



a) *b)*

Figura 2. Structura compusului coordinativ tetranuclear macrociclic **3** (*a*); Modul de împachetare a cationilor complecși $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8]^{8+}$ în cristal (*b*)

Analiza poliedrului coordinativ al atomului Co(1) din complexul macrociclic **3**, relevă o geometrie coordinativă similară cu cea observată anterior în complecșii mononucleari ai Co(II) cu structură ionică și moleculară, obținuți pe baza dihidrazonelor *Dap* [9].

În structura cristalină, pe lângă forțele electrostatice ce se stabilesc între cationii complecși $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8]^{8+}$ și anionii HSO_4^-, aceste componente sunt legate printr-o rețea extinsă de legături de hidrogen intermoleculare de precum O(*w*)–H(*w*)···O(*S*) și N–H···O(S), cu distanțele donor···acceptor de 2,707(13) și 2,773(11) Å (Figura 2*a*). Deasemenea, se observă interacțiuni de tip C–H···O(S), cu distanțele donor···acceptor cuprinse între 3,33(2) – 3,41(4) Å.

Tabelul 2. Date cristalografice şi parametrii de structură pentru $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8 \cdot 12H_2O$

Numărul de depozitare în BDSC	**2463830**
Formula empirică	$C_{44}H_{71}Co_4N_{20}O_{60}S_8$
Singonia	Tetragonală
Grupul spaţial	$I\text{-}4_2m$
Z	2
a(Å)	23,1633(8)
b(Å)	23,1633(8)
c(Å)	16,1442(15)
V(Å^3)	8662,0(9)

În structura cristalină, moleculele de apă de cristalizare nu participă semnificativ la rețeaua de legături de hidrogen cu celelalte componente ale cristalului, fiind în mare parte localizate în cavitățile structurii. Evaluarea spațiului poros accesibil după îndepărtarea

moleculelor de solvent din structura cristalină a fost realizată cu ajutorul programului PLATON [10]. Rezultatele arată că, volumul disponibil pentru moleculele de solvent este de 5358,9 Å, ceea ce reprezintă 61,9%, din volumul total al celulei elementare (8662,0 Å), în urma evacuării moleculelor de apă de cristalizare.

CONCLUZII

Prin aplicarea strategiei de condensare templată a 2,6-diacetilpiridinei cu dihidrazida acidului oxalic pe matrice de Co(II), în raport molar 1:1, dar utilizând proporția de 4:4:4, combinată cu procesul de deprotonare-protonare a ligandului macrociclic de tip bază Schiff, a fost sintetizat și caracterizat complexul macrociclic tetranuclear $[Co_4(H_8L)(H_2O)_8](HSO_4)_8 \cdot 12H_2O$. Acest compus prezintă o structură ionică, în care ligandul macrociclic 20-dentat, este stabilizat în formă cetonică.

Absența acestor tipuri de compuși în BDSC, precum și în literatura de specialitate, evidențiază caracterul inovator și originalitatea complexului macrociclic obținut în cadrul acestui studiu. Rezultatele obținute contribuie semnificativ la aprofundarea și extinderea cunoștințelor privind chimia coordinativă a Co(II), în special în contextul proiectării de structuri supramoleculare macrociclice cu potențial aplicativ în domenii, precum cataliza și dezvoltarea materialelor funcționale avansate.

REFERINȚE:

1. MISHRA, P., SETHI, KUMAR, P.S., RATHI, P., UMAR, A., KUMAR, R., CHAUDHARY, S., ALKHANJAF, A.A.M., IBRAHIM, A.A., BASKOUTAS, S. Synthesis and biomedical applications of macrocyclic complexes. In: *Journal of Molecular Structure,* 2024, vol. 1317, p. 139098 https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.139098
2. SADR, M. H., PASHAZADEH, A. Simple introduced in/on preformed macrocyclic ligands with imidazole groups as new platform linkers in metal-organic frameworks material: Application in electrochemical sensing Losartan. In: Sensing and Bio-Sensing Research, 2025, vol. 47, p. 100770 https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2025.100770
3. GERBELEU, N.V., ARION, V.B., BURGESS, J.P. *Template Synthesis of Macrocyclic Compounds.* John Wiley & Sons (2008).
4. GOLBEDAGHI, R.; TABANEZ, A. M.; ESMAEILI, S.; FAUSTO, R. Biological Applications of Macrocyclic Schiff Base Ligands and Their Metal Complexes: A Survey of the Literature (2005-2019). In: *Applied Organometallic Chemistry*, 2020, e5884. https://doi.org/10.1002/aoc.5884
5. ALLEN, F.H. The Cambridge Structural Database: a quarter of a million crystal structures and rising. In: *Acta Crystallographica Section B Structural Science*. 2002, vol. B58(3-1), pp. 380-388. https://doi.org/10.1107/S0108768102003890

6. ABEDIN, T.S.M.; THOMPSON, L.K.; MILLER, D.O. An octanuclear $[Co(II)_2–Co(III)_2]_2$ interlocked grid-example of an inorganic [2]catenane. In: *Chemical Communications*, 2005, 44, 5512–5514. https://doi.org/10.1039/b510755e
7. DANILESCU, O., BULHAC, I., COCU, M., BOUROSH, P., SHOVA, S. Coordination compounds of Co(II) assembled through deprotonation-protonation of the ligand. In: *International scientific and practical conference "EDUCATION THROUGH RESEARCH FOR A PROSPEROUS SOCIETY"*, the XIth edition, march 16-17 2024, Chisinau, vol. I, Contemporary achievements in natural sciences, pp.79-85. ISBN 978-9975-46-902-9 (PDF) http://dir.upsc.md:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6439/Conf-UPSC-16-17-05-2024-V1-p79-85.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. BULHAC, I., DANILESCU, O., RIJA, A., SHOVA, S., KRAVTSOV, V.CH., BOUROSH, P.N. Cobalt(II) complexes with pentadentate Schiff bases 2,6-diacetylpyridine hydrazones: syntheses and structures. In: *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2017, vol. 43(1), pp. 21-36. https://doi.org/10.1134/S1070328417010018
9. DANILESCU O., BULHAC I., BOUROSH P.N. , CROITOR L. Anion-assisted Fe(III)-coordination supramolecular systems based on 2,6-diacetylpyridine dihydrazone. In: *Polyhedron*. 2022, Vol. 215, pp. 115679. https://doi.org/10.1016/j.poly.2022.115679
10. SPEK, A.L. Single-crystal structure validation with the program *PLATON*. In: *Journal of Applied Crystallography*. 2003, vol. 36, pp. 7-13. http://scripts.iucr.org/cgi-bin/paper?S0021889802022112

N.B. *Rezultatele incluse în acest studiu au fost realizate în cadrul a două subprograme de cercetare 010602 și 011202, finanțate de MEC.*

PROCESE DE OXIDARE AVANSATĂ A SURFACTANTULUI ANIONIC DODECILBENZOSULFONAT DE SODIU

ADVANCED OXIDATION PROCESSES OF THE ANIONIC SURFACTANT SODIUM DODECYLBENZENESULFONATE

CZU: 544.4:546.21:66.067.8:628.3 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.87**

Maria GONȚA
ORCID: 0000-0003-3476-0967
E-mail: mvgonta@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Larisa MOCANU
ORCID: 0000-0003-3306-5292
E-mail: larisa.mocanu@usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elizaveta LEOTIEVA
ORCID: 0000-0002-3398-5147
E-mail: lizaleon0905@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This study investigates the degradation of sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS), an anionic surfactant and persistent contaminant commonly found in industrial wastewater, through advanced oxidation processes (AOPs). The experimental research focused on evaluating and comparing the efficiency of Fenton and photo-Fenton processes. Kinetic parameters were analyzed in relation to pH, hydrogen peroxide concentration, and ferrous ion concentration. Under optimal conditions (pH = 3,0* $[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ *M and* $[Fe^{2+}]_0 = 1 \cdot 10^{-4}$ *M), the conventional Fenton process achieved a degradation efficiency of approximately 42.5%, with a reaction rate of* $2.47 \cdot 10^{-7}$ *M/s. In contrast, the photo-Fenton process, enhanced by UV-C irradiation, significantly improved the oxidative performance, resulting in a degradation efficiency of up to 70.2%.*

Keywords: *kinetics, sodium dodecylbenzosulfonate, Fenton and Photo-Fenton, mineralization, advanced oxidation processes (AOPs).*

INTRODUCERE

Poluarea mediului ambiant, în special a apelor, constituie o problemă gravă care afectează echilibrul ecologic al planetei. Printre poluanții care contribuie semnificativ la deteriorarea calității apei se numără surfactanții, ce sunt utilizați în compoziția detergenților, produselor de curățare, celor cosmetice, în industria textilă și multe alte domenii datorită proprietăților lor de reducere a tensiunii superficiale, emulsionare și

dispersie. Deși, sunt extrem de utili, acești compuși prezintă o problemă majoră din punct de vedere ecologic. Persistența lor în mediu, toxicitatea pentru organismele acvatice și potențialul de bioacumulare contribuie la poluarea severă a apelor de suprafață și subterane. În plus, procesele naturale de biodegradare sunt lente, iar unele tipuri de surfactanți pot genera produse de degradare la fel de nocive [1,2].

Poluarea apelor naturale cu surfactanți anionici, precum dodecilbenzosulfonatul de sodiu (SDBS), reprezintă o problemă ecologică datorită persistenței și toxicității acestuia pentru ecosistemele acvatice. Dodecilbenzosulfonatul de sodiu conține o grupă funcțională cu sarcină negativă (în acest caz, gruparea sulfonat ($-SO_3^-$), atașat unei structuri hidrofobe cu caracter aromatic. Rezistența sa la degradare prin oxidare provine, în mare măsură, din stabilitatea grupării sulfonat legată de nucleul aromatic. Această combinație de rigiditate aromatică și încărcare negativă face molecula mai puțin susceptibilă la atacurile oxidanților simpli sau la procese microbiologice.

Totodată, această structură conferă o stabilitate chimică înaltă și rezistență la procesele de biodegradare, motiv pentru care SDBS este detectat frecvent în apele de suprafață, în apele subterane și chiar în efluenții finali ai stațiilor de epurare. Concentrațiile în efluenți industriali variază între 2 și 30 mg/L, cu valori mult peste limita maximă admisibilă pentru surfactanții anionici în apele uzate, stabilită la 0,5 mg/L, conform legislației Uniunii Europene și la valori similare în reglementările Republicii Moldova.

În stațiile de epurare, SDBS este considerat un contaminant recalcitrant. Metodele clasice – decantarea, coagularea-floculare, filtrarea și epurarea biologică – au eficiență limitată asupra acestui compus, necesitând procese suplimentare. Ineficiența acestor metode pentru înlăturarea surfactanților a condus la dezvoltarea proceselor de oxidare avansată.

În concluzie, SDBS nu este doar un ingredient esențial în multe procese industriale, ci și un exemplu clasic de poluant anionic persistent, dificil de eliminat și cu impact ecologic major. Înțelegerea structurii, proprietăților și comportamentului său în mediu este importantă pentru proiectarea de soluții eficiente de epurare, iar utilizarea metodelor chimice inovatoare, cum ar fi procesele Fenton și foto-Fenton, devine o necesitate pentru abordarea problemei dintr-o perspectivă sustenabilă.

Scopul lucrării constă în studiul proceselor catalitice și fotocatalitice de oxidare avansată utilizate pentru reducerea concentrației dodecilbenzosulfonatului de sodiu (SDBS) din apele reziduale.

MATERIALE ȘI METODE

Cercetările experimentale s-au realizat în cadrul laboratorului de cercetări științifice la *Departamentul Chimie industrială și ecologică „Academician Gheorghe»*, Universitatea de Stat din Moldova.

Pentru realizarea cercetărilor s-au utilizat exclusiv reactivi de puritate ridicată, pentru a asigura acuratețea măsurătorilor și reproductibilitatea rezultatelor. Toate substanțele chimice au fost achiziționate, în principal, de la Sigma-Aldrich: sarea Mohr,

dodecilbenzosulfonat de sodiu, soluție de peroxid de hidrogen 30%, albastru de metilen, cloroform. Au fost utilizate diferite soluții: soluție de metanol 96%, soluția tampon de fosfat disodic, soluția tampon de acid boric, soluție de bicromat de potasiu, și pentru menținerea mediului, acid sulphuric și sulgat de argint.

Metodologia procesului Fenton

Metoda Fenton este una dintre cele mai eficiente tehnologii de oxidare avansată (AOPs), bazată pe generarea radicalilor OH, specii cu potențial oxidativ extrem de ridicat. Acești radicali sunt produși *in situ*, prin reacția dintre H_2O_2 și ionii Fe^{2+}, într-un mediu acid (pH de 2,5-3,3).

Metodologia procesului foto-Fenton

Procesul foto-Fenton reprezintă o variantă avansată a metodei clasice Fenton, în care eficiența generării radicalilor OH este amplificată prin aportul de radiații ultraviolete (UV). Iradierea cu UV permite activarea suplimentară a peroxidului de hidrogen și regenerarea ionilor Fe^{2+} din ionii Fe^{3+}, accelerând astfel ciclul catalitic Fenton și conducând la o creștere semnificativă a randamentului de degradare a poluanților organici.

Pentru monitorizarea procesului, probele au fost prelevate la intervale regulate de timp: 0, 10, 20 și 30 min. După colectare, fiecare probă a fost imediat tratată cu soluții tampon pentru a întrerupe reacția și pregătită pentru analizele ulterioare. Ulterior, s-a determinat concentrația reziduală a surfactanților anionici conform metodelor. Toate rezultatele au fost comparate cu cele obținute în absența iradierii UV (metoda clasică Fenton), pentru a înțelege contribuția radiației UV la eficiența procesului.

*Metoda de extracție cu cloroform și determinare spectrofotometrică a SDBS folosind albastrul de metilen.*Această metodă este utilizată pentru a determina concentrația surfactantului anionic, dodecilbenzosulfonat de sodiu (SDBS), prin formarea unui complex specific cu albastrul de metilen, urmată de extracția lui în faza organică și măsurarea absorbției la lungimea de undă de 660 nm.

Principiul metodei este bazat pe interacțiunea dintre SDBS și albastrul de metilen: SDBS, fiind un surfactant anionic, formează un complex ion-pereche cu albastrul de metilen, un colorant cationic. Această interacțiune este bazată pe atracția electrostatică dintre grupările sulfonat negative ale SDBS și grupările pozitive ale albastrului de metilen [2,3].

Pentru obținerea curbei de etalonare se prepară o serie de soluții standard de SDBS cu concentrații cunoscute. Acestea sunt tratate similar cu mostrele cu albastrul de metilen pentru a construi curba de etalonare. Ecuația dreptei din curba de etalonare obținute experimental este următoarea: $y = 0,0215x + 0,2666$ ($R^2 = 0,969$), validă în intervalul 0-60 mg/L.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Studiul proceselor de oxidare avansată a surfactantului anionic dodecilbenzosulfonat de sodiu prin metodele Fenton și foto-Fenton

Degradarea eficientă a compușilor organici din apele uzate, în special a surfactanților anionici precum, dodecilbenzensulfonatul de sodiu (SDBS), poate atinge eficiențe maxi-

me de degradare, prin optimizarea parametrilor fizico-chimici implicați. Ca urmare, au fost analizate influența valorii pH-ului, a concentrației inițiale de peroxid de hidrogen, a concentrației ionilor Fe^{2+} și a concentrației inițiale de poluant asupra cineticii procesului de degradare și a gradului de oxidare/mineralizare a SDBS.

Influența pH-ului asupra eficienței de oxidare/mineralizare a SDBS prin aplicarea reagentului Fenton. pH-ul soluției este un parametru important în mecanismul reacției Fenton, având o influență directă asupra stabilității și reactivității speciilor chimice implicate. În studiile experimentale s-a analizat variația concentrației SDBS în domeniul de pH cuprins între 2,0 și 3,0. În acest interval, eficiența procesului este maximă la pH 3,0, unde s-a obținut o viteză de reacție de $2{,}47 \cdot 10^{-7}$ M/s în decurs de 30 min (Tab. 1).

Tabelul 1. Gradul de degradare a SDBS (20 mg/L) și variația parametrilor cinetici în funcție de valoarea pH-ului; $[Fe^{2+}]_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ M, $[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ M

pH	$k \cdot 10^3$, s^{-1}	$W \cdot 10^7$, M/s	Degradarea, %
2,0	0,25	2,09	36,5
2,5	0,27	2,24	39,0
3,0	0,30	2,47	42,5

La această valoare a pH-ului, ionii Fe^{2+} sunt suficient de stabili pentru a reacționa eficient cu peroxidul de hidrogen, generând o cantitate semnificativă de radicali OH [4].

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO\bullet + HO^- \text{ k = 50-80 mol−1.L−1 (1)} \quad (1)$$

$$Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + HO_2\bullet + H^+ \text{ k = 0.002-0.01 mol−1.L−1} \quad (2)$$

Acești radicali sunt responsabili pentru declanșarea unei serii de reacții de oxidare în lanț, care duc la ruperea legăturilor din molecula de SDBS. În plus, la valoarea pH-ului 3,0, solubilitatea ionilor Fe(II) este optimă, evitându-se precipitarea acestuia sub formă de $Fe(OH)_2$, care ar reduce disponibilitatea catalizatorului. La valori ale pH-ului sub 2,5, reacția este inhibată datorită competiției dintre ionii H^+ și peroxidul de hidrogen pentru reacția cu Fe^{2+}, ceea ce duce la formarea specie de peroxiradicali $^{\cdot}OOH$, care este mai puțin reactivă. De asemenea, la pH > 4,5, ionii Fe^{3+} precipită sub formă de hidroxizi, reducând eficiența generării radicalilor OH. În concluzie, menținerea pH-ului în jurul valorii de 3,0 este esențială pentru optimizarea reacției Fenton.

Influența concentrației peroxidului de hidrogen asupra eficienței de oxidare/mineralizare a SDBS prin aplicarea reagentului Fenton

Peroxidul de hidrogen este sursa principală de formare a radicalilor OH în sistemul Fenton [4], iar concentrația acestuia determină în mod direct viteza de generare a speciilor reactive. Studiile experimentele au demonstrat că variația concentrației de H_2O_2 între

$1 \cdot 10^{-5}$ M și $1 \cdot 10^{-3}$ M influențează semnificativ viteza reacției și gradul de degradare. La concentrația optimă de H_2O_2 egală cu $1 \cdot 10^{-3}$ M, viteza inițială a reacției a atins 2,47 $\cdot 10^{-7}$ M/s, cu un grad de mineralizare de 42,5 % (Tab. 2).

Tabelul 2. Gradul de degradare a SDBS (20 mg/L) și parametrii cinetici în funcție de $[H_2O_2]$; pH = 3,0; $[Fe^{2+}]_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ M

$[H_2O_2]_0$, M	$k \cdot 10^3$, s^{-1}	$W \cdot 10^7$, M/s	Degradarea, %
$\mathbf{1 \cdot 10^{-5}}$	0,25	2,12	37,0
$\mathbf{1 \cdot 10^{-4}}$	0,30	2,38	41,5
$\mathbf{3 \cdot 10^{-4}}$	0,32	2,47	42,5

Influența concentrației ionilor Fe^{2+} asupra eficienței de oxidare/mineralizare a SDBS prin aplicarea reagentului Fenton. Ionii Fe^{2+} au rol catalitic esențial în declanșarea reacției Fenton. S-a studiat variația [SDBS] în funcție de concen [Fe^{2+}], Figura 1.

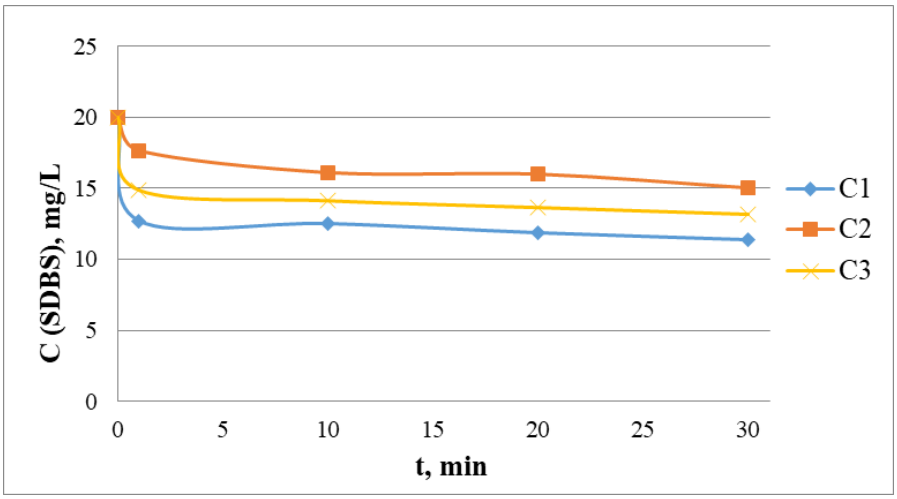


Figura 1. Variația concentrației SDBS în procesul de oxidare/mineralizare în funcție de concentrația ionilor Fe^{2+}; pH = 3,0, $[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ M; [SDBS] = 20 mg/L
$C_1 = 3 \cdot 10^{-4}$ M; $C_2 = 1 \cdot 10^{-5}$ M; $C_3 = 1 \cdot 10^{-4}$ M.

În urma reacției ionilor Fe^{2+} cu H_2O_2, are loc generarea radicalilor OH și oxidarea până la ioni Fe^{3+}, care poate fi, ulterior, redus la ioni Fe^{2+}, menținându-se astfel ciclul catalitic. În studiul realizat, concentrația ionilor Fe^{2+} a fost variată între ($1 \cdot 10^{-5}$ și $3 \cdot 10^{-4}$) M, cu o concentrație constantă de SDBS de 20 mg/L (Fig. 1.). Rezultatele experimentale

au arătat că la o concentrație de $3 \cdot 10^{-4}$ M, viteza reacției a fost de $2,47 \cdot 10^{-7}$ M/s, iar gradul de degradare a crescut semnificativ de la 25 % la 42,5 %.

Studiu comparativ al metodelor Fenton și foto-Fenton.

A fost studiată experimental influența concentrației ionilor Fe^{2+} în intervalul de concentrații de ($1 \cdot 10^{-5}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ M) asupra eficienței de oxidare/mineralizare a SDBS prin aplicarea razelor UV ($\lambda = 254$ nm). Procesul a fost realizat la valoarea pH-ului 3,0, concentrația SDBS a fost de 20 mg/L și concentrația oxidantului de $1 \cdot 10^{-3}$ M. Prin interacțiunea ionilor Fe^{2+} cu peroxidul de hidrogen (H_2O_2) se formează radicalul OH și ioni Fe^{3+}. Rezultatele experimentale au arătat că creșterea concentrației ionilor de Fe^{2+} în intervalul ($1 \cdot 10^{-5}$ și $3 \cdot 10^{-4}$ M) duce la creșterea vitezei reacției, iar gradul de degradare a crescut semnificativ de la 57,8 % la 70,2 % (Tab. 3).

Tabelul 3. Gradul de degradare a SDBS (20 mg/L) și parametrii cinetici pentru procesele Fenton și UV-Fenton la concentrații optime; pH = 3; UV = 254 nm, $[Fe^{2+}]_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ M, $[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ M

Metoda	**$k \cdot 10^3$, s^{-1}**	**$W \cdot 10^7$, M/s**	**Degradarea, %**
Fenton	0,32	2,47	42,5
foto-Fenton	0,67	4,73	70,2

Eficiența sporită a procesului este corelată cu o disponibilitate mai mare a catalizatorului, care favorizează generarea radicalilor hidroxil [5]. În prezența radiației UV-C se dublează generarea de radicali OH, astfel crește viteza procesului și gradul de degradare a SDBS.

CONCLUZII

1. Procesul Fenton clasic, desfășurat în condiții optime (pH = 3, $[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ M, $[Fe^{2+}]_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ M), s-a realizat o degradare de circa 42,5% a SDBS. O concentrație corespunzătoare de peroxid de hidrogen și ioni Fe^{2+} asigură o generare continuă de radicali OH.

2. S-a constatat că parametrii care influențează în mod direct eficiența procesului Fenton sunt: timpul de oxidare, pH-ul, concentrația inițială a substratului, catalizatorului și a oxidantului. Au fost calculate vitezele procesului, constantele de viteză și gradul de oxidare/mineralizare. Valoarea maximă a vitezei reacției de oxidare a SDBS în procesul Fenton a fost la pH = 3, concentrația optima de H_2O_2 a fost de $1 \cdot 10^{-3}$ M, iar concentrația eficientă a ionilor Fe^{2+} a fost de $4 \cdot 10^{-3}$ M.

3. Aplicarea radiației UV ($\lambda = 254$ nm) în cadrul procesului de oxidare a SDBS prin metoda foto-Fenton a condus la o îmbunătățire considerabilă a performanței oxidative, cu o creștere a gradului de mineralizare de la 42% până la 70,2%. Acest rezultat este

determinat de regenerarea continuă a ionilor Fe^{2+} din ioni Fe^{3+} sub influența radiației UV, care, la rândul său, accelerează fotoliza H_2O_2, ceea ce duce la o creștere a concentrației radicalilor hidroxil.

REFERINȚE:

1. SANDU, M. Impactul agenţilor activi de suprafaţă asupra mediului şi ajustarea legislaţiei naţionale la cerinţele UE. În: *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii. Nr. 2(332),* 2017, pp. 173-174. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/173_179_Impactul%20agen%C5%A3ilor%20activi%20de%20suprafa%C5%A3%C4%83%20asupra%20mediului%20%C5%9Fi%20ajustarea%20legisla%C5%A3iei.pdf
2. PORUBIN-SCHIMBĂTOR, V., GONȚA, M., MOCANU, L. Procesele avansate de foto-oxidare (Reagentul Fenton) pentru mineralizarea surfactantului anionic 2-ETIL-HEXIL SULFAT DE NATRIU, 2021. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/319-326_3.pdf
3. PORUBIN-SCHIMBĂTOR, V., GONȚA, M., MOCANU, L. Procesele avansate de oxidare (Reagentul Fenton) pentru mineralizarea surfactantului cationic CETIL-TRIMETIL-AMONIU BROMIDE, 2020. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/332-337_6.pdf
4. MOCANU, L., GONȚA, M., DUCA, G., MATVEEVICI, V. Aplicarea metodelor fizico-chimice combinate la înlăturarea poluanților textili din soluții apoase, 2023. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/monografie_LMocanu_11.05.2023-12-38.pdf
5. WANG, X., YAN, P., YANG, X., HE, M. Study on the Mechanism of Sodium Dodecylbenzene Sulfonate Oxidation by Electro-Fenton System. In: *Water, Air & Soil Polution, Vol. 233, No. 462*, 2022. https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-022-05944-8.

N.B. *Lucrarea a fost elaborată în cadrul proiectului „Identificarea Procedeelor Tehnologice de Tratare, Formare a Calității și Cantității Apelor și Cercetări Avansate în Chimia Computațională și Ecologică” cu cifrul 010603.*

STUDII RMN ALE 1-(2-OXOPROPIL)SPIRO[[1,3] INDOLIN-3,2'-[1,3]DIOXOLAN-2-ONEI CU PROPRIETĂȚI ANXIOLITICE

NMR STUDIES OF 1-(2-OXOPROPYL)SPIRO[[1,3]INDOLINE-3,2'-[1,3] DIOXOLAN-2-ONE WITH ANXIOLYTIC PROPERTIES

CZU: 543.429.23:547.233.1:615.214.22 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.88**

Elena GORINCIOI
ORCID: 0000-0002-5087-2777
E-mail: elena.gorincioi@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Tatiana ȘTEFANEȚ
ORCID: 0000-0003-2060-8382
E-mail: tatiana.stefanet@usmf.md
Universitatea de Stat de Medicină şi Farmacie „Nicolae Testemiţanu", Chişinău, Republica Moldova

Eugenia STÎNGACI
ORCID: 0000-0003-0731-3424
E-mail: eugenia.stingaci@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Vladimir VALICA
ORCID: 0000-0002-1068-5504
E-mail: vladimir.valica@usmf.md
Universitatea de Stat de Medicină şi Farmacie „Nicolae Testemiţanu", Chişinău, Republica Moldova

Fliur MACAEV
ORCID: 0000-0002-3094-1990
E-mail: fliur.macaev@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Summary. *The current communication reports on the use of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy for the NMR characterization of 1-(2-oxopropyl)spiro[[1,3]indoline-3,2'-[1,3]dioxolan-2-one, for which anxyolitic and antidepressant effects have been found in preliminary tests. The combination of 1D and 2D homo- and heterocorrelation $^{1}H/^{13}C$ NMR experiments provided the unambiguous set of assignments. Studies regarding the properties of the title com-*

pound and its congeners are of great interest, as these compounds may be advanced for further biological testing and preclinical development, or used as possible lead compounds for the future design of Monoamine oxidase inhibitors.

Keywords: *antidepressant, anxyoliotic, isatine derivatives, NMR.*

INTRODUCERE

Actualmente, spectroscopia de rezonanță magnetică nucleară (RMN) este recunoscută ca fiind unul dintre instrumentele superioare pentru controlul rapid și precis al calității principiilor active din medicamente [1, 2]. În particular, aceasta își găsește numeroase aplicații în industria farmaceutică legate de cuantificarea și aprecierea purității ingredientelor active medicamentoase, produselor medicamentoase, precum și stabilirea identității impurităților și a conținutului acestora.

Conform datelor recente disponibile cu referire la anul 2021, oferite de Institutul pentru Indicatori și Evaluare a Sănătății, aproximativ 56.3 de milioane de oameni din lume suferă de depresie [3]. În prezent sunt explorate unele abordări inovaționale, bazate pe idei creative pentru descoperirea eventualelor soluții în tratamentul depresiei, de ex., prin recapitularea efectului antidepresiv și a mecanismului de acțiune a ingredientelor active atât din alimentele funcționale, precum și din medicamente, prin combinarea efectelor terapeutice ale medicamentelor cu valoarea nutritivă a alimentelor (“medicine food homology”-eng.) [4]. De rind cu acestea, o vastă utilizare au medicamentele antidepresive, eficacitatea extremă a căror a fost probată de timp.

Flavoenzima monoaminooxidaza (MAO), cu izoformele sale MAO-A și MAO-B, este o țintă bine- cunoscută pentru medicamentele antidepresive și neuroprotectoare, prin funcțiile – cheie în catabolismul neuroaminelor din sistemul nervos central și periferic [5]. În speță, o eficiență sporită în tratamentului maladiilor neuropsihiatrice a fost demonstrată în cazurile utilizării inhibitorilor acestui ferment (IMAO) [6]. Studiul structurii monoaminooxidazei B mitocondriale umane legată cu inhibitori: ireversibil (**1**) și reversibili (**2** și **3**) pe baza analizei Roentghen a permis examinarea detaliată a centrului activ al enzimei, formând o bază moleculară solidă pentru proiectarea noilor inhibitori specifici reversibili MAO-B umani [7]. Aceste investigații au o certă relevanță, compusul **2** fiind un contaminant găsit în materialele plastice din polistiren, în timp ce 1*H*-indol-2,3-diona (isatina) **3** este un IMAO-B uman redutabil (IC_{50} 3 μM), de natură endogenă, fiind responsabilă pentru sporirea nivelului de dopamină în creier [8]. Profilul polifarmacologic al isatinei în chimia medicinală a creat premise benefice pentru studii vizând analogii structurali isatinici, în particular, studii de relație structură-activitate (SAR), care accelerează ideile pentru proiectarea și dezvoltarea unei noi clase de inhibitori MAO pentru bolile neurodegenerative [9, 10].

În continuarea studiilor noastre axate pe compușii ce pot exprima efecte accentuate și selective de inhibare pentru MAO-B [11, 12], prezentăm aici caracterizarea completă ^{1}H și ^{13}C RMN pentru 1-(2-oxopropil)spiro[[1,3]indolin-3,2’-[1,3]dioxolan-2-ona **4**, care a demonstrat proprietăți anxiolitice și antidepresante în testele biologice preliminare.

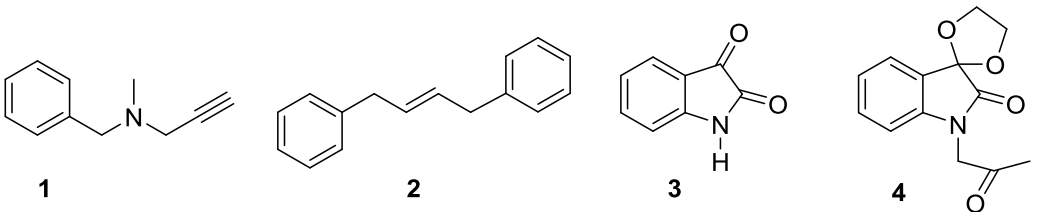


Figura 1. Inhibitori ai MAO-B: ireversibil (pargilina **1)** și reversibili **(**1,4-difenil-2-butena **2** și isatina **3**) [7] și structura 1-(2-oxopropil)spiro[[1,3]indolin-3,2'-[1,3]dioxolan-2-onei **4**

Materialul propus poate oferi numeroase beneficii educaționale în predarea și învățarea chimiei, în special pentru studenții avansați de la programele de masterat în chimie organică/bioorganică, pentru care este stringentă necesitatea manipulării datelor RMN obținute în urma achiziționării spectrelor RMN 1D și 2D pe nucleele ^{1}H și ^{13}C ale unui compus pur.

MATERIAL ȘI METODĂ

Sinteza derivatului isatinic **4** a fost realizată în conformitate cu metoda recent descrisă [13]. În lucrare este utilizat sistemul IUPAC de numerotare al atomilor [14]. Spectrele RMN au fost înregistrate pe un spectrometru Bruker Avance 400 echipat cu o sondă inversă și accesorii cu gradient z, funcționând la un câmp magnetic constant de 9.4 T. Proba a fost analizată într-un tub de 5 mm la 298 K în soluție de cloroformul deuterat ($CDCl_3$). Deplasările chimice (δ) sunt raportate în părți per milion (ppm) și se referă la picul solventului rezidual nedeuterat (7.26 ppm pentru ^{1}H și 77.0 ppm pentru ^{13}C). Experimentele RMN 1D (^{1}H, ^{13}C și DEPT-135) și 2D homo- ($^{1}H/^{1}H$ COSY) și heteronucleare ($^{1}H/^{13}C$ gHSQC și $^{1}H/^{13}C$ HMBC au fost efectuate prin secvențe standard de impulsuri. Constanta de interacțiune spin-spin (*J*) este raportată în Hertz (Hz). Spectrele RMN au fost procesate și analizate utilizând software-ul TopSpin 4.0.7 (Bruker).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analiza datelor spectrale ^{1}H și ^{13}C RMN confirmă pe deplin structura compusului **4**. Atribuirea semnalelor caracteristice pentru nucleele ^{1}H și ^{13}C în spectrele RMN ale compusului **4** a fost efectuată pe baza experimentelor 1D RMN (^{1}H, DEPT-135 și ^{13}C) și 2D RMN ($^{1}H/^{1}H$ COSY, $^{1}H/^{13}C$ HSQC și $^{1}H/^{13}C$ HMBC). Spectrul ^{1}H RMN al compusului **4** conține semnalele caracteristice pentru toți cei treisprezece protoni prezenți în structura moleculară a compusului 1. Grupa metil a fragmentului 2-oxopropilic este izolată și apare în spectrul protonic la ™ 2.19 ppm sub formă de singlet (Figura 2). Multipletele grupelor metilen ale heterociclului dioxolanic se găsesc în spectru în camp mai slab, la ™ 4.33 și 4.57 ppm, respectiv.

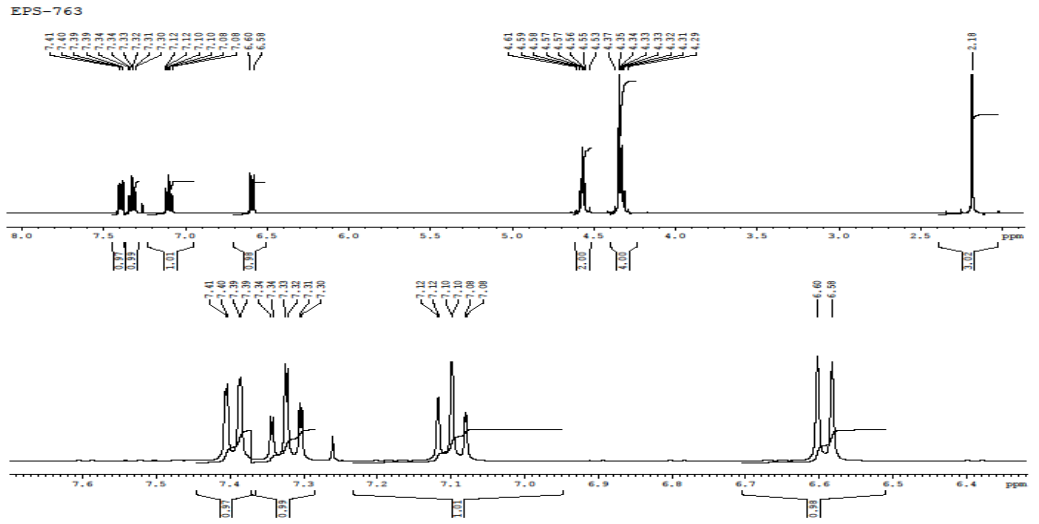


Figura 2. Spectrul ^{1}H RMN al compusului **4**

Singletul grupei metilen aparținând unității oxopropilice la ™ 4.35 ppm este suprapus pe semnalul multiplet sus-menționat la ™ 4.33 ppm, ceea ce este confirmat atât de intensitatea relativa a acestui semnal, masurata prin arie, care indică patru nuclee ^{1}H (Figura 2), cât și de cross-peak-urile corespunzătoare în spectrul ^{1}H/^{13}C HSQC: 4.33/65.9 și 4.35/49.2 (Figura 3).

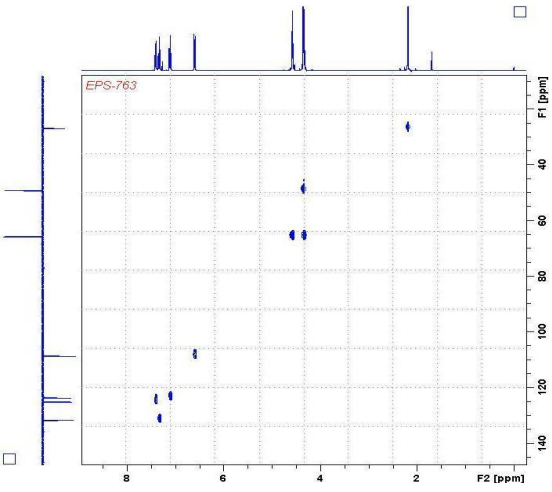


Figure 3. Spectrul ^{1}H/^{13}C HSQC RMN al compusului **4**

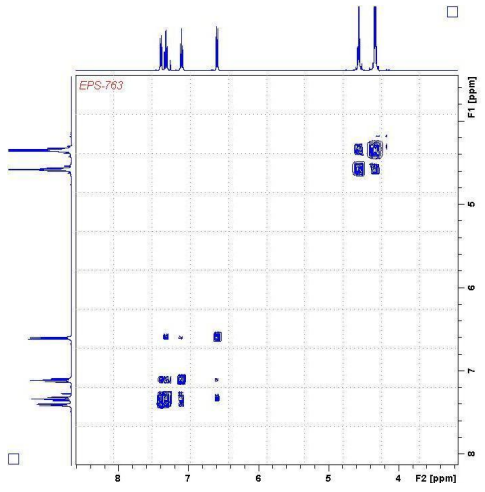


Figure 4. Spectrul ^{1}H/^{1}H COSY RMN al compusului **4**

Zona aromatică a spectrului ^{1}H RMN conține semnalele tuturor celor patru protoni aromatici, magnetic neechivalenți, cu deplasări chimice la ™ 6.59 ppm, 7.09 ppm, 7.31

ppm și 7.40 ppm (Figura 2). Protonul H-7 apare în spectru la ™ 6.59 ppm ca dublet cu constanta de cuplare 7.9 Hz, datorită cuplării cu H-6; H-6 apare la ™ 7.32 ppm ca triplet din cauza suprapunerii celor doi dubleți, cu constanta de cuplare 7.8 Hz, datorită cuplării cu H-7, respectiv H-5. La fel, H-5 este un triplet la ™ 7.10 ppm cu constanta de cuplare 7.8 Hz, datorită cuplării egale cu H-6 și H-4, iat H-4 este dublet la ™ 7.40 ppm cu constanta de cuplare 7.4 Hz, datorită cuplării cu H-6. În spectrul ^{1}H este atestată si scindarea suplimentară a semnalelor protonilor aromatici, aceasta datorându-se unor cuplări la distanță a protonilor *meta*-, cum ar fi H-4 și H-6, H-5 și H-7, care pot interveni în sisteme aromatice, având valori până la 3 Hz [15].

Spectrul 2D de homocorelare ^{1}H/^{1}H COSY RMN al compusului **4** conține două seturi de cross-peak-uri caracteristice, ce confirmă fără echivoc cuplarea protonilor metilenici dioxolanici și respectiv, H-4/H-5/H-6/H-7 aromatici (Figura 4).

Pentru atribuirea completă a rezonanțelor nucleelor ^{13}C au fost analizate spectrele 1D RMN (^{13}C și DEPT-135) și 2D RMN (^{1}H/^{13}C HSQC și ^{1}H/^{13}C HMBC). Astfel, spectrul ^{13}C RMN conține 12 semnale care identifică diferitele tipuri de nuclee ^{13}C prezente în structura moleculară a compusului **4**. Semnalul unic la ™ 65.9 ppm caracterizează două nuclee ^{13}C magnetic echivalente aparținând celor două grupe metilenice ale heterociclului dioxolanc, ceea ce este demonstrat prin cross-peak-urile la ™ 4.33/65.9 ppm și ™ 4.57/65.9 ppm în spectrul ^{1}H/^{13}C HSQC RMN (Figura 3). Examinarea comparativă a spectrelor ^{13}C și DEPT-135 RMN a permis elucidarea exactă a celor cinci rezonanțe caracteristice nucleelor ^{13}C, aparținând atomilor de carbon cuaternari, la ™ 102.1, 123.8, 143.4, 173.3 și 201.7 ppm (Figurile 5 și 6). Dintre acestea, semnalul nucleului ^{13}C la ™ 102.1 ppm a fost atribuit atomului C-3, valoarea dată fiind tipică pentru atomi de carbon ketalici sp^{3}-hibridizați [16]. Corectitudinea acestei atribuiri este demonstrată în mod suplimentar prin heterocorelările stabilite pentru acest nucleu de carbon cu protonii dioxolanici, la ™ 4.33/102.1 ppm și ™ 4.57/102.1 ppm în spectrul ^{1}H/^{13}C HMBC (Figura 7).

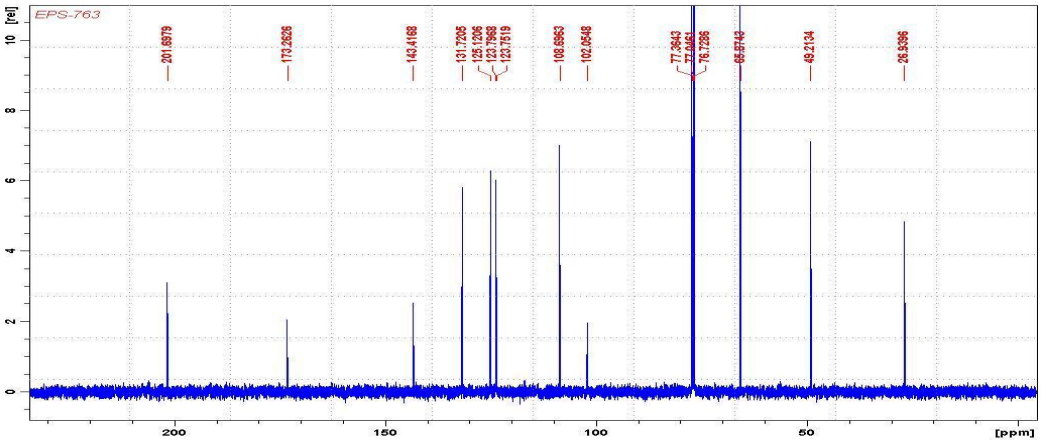


Figura 5. Spectrul ^{13}C RMN al compusului **4**

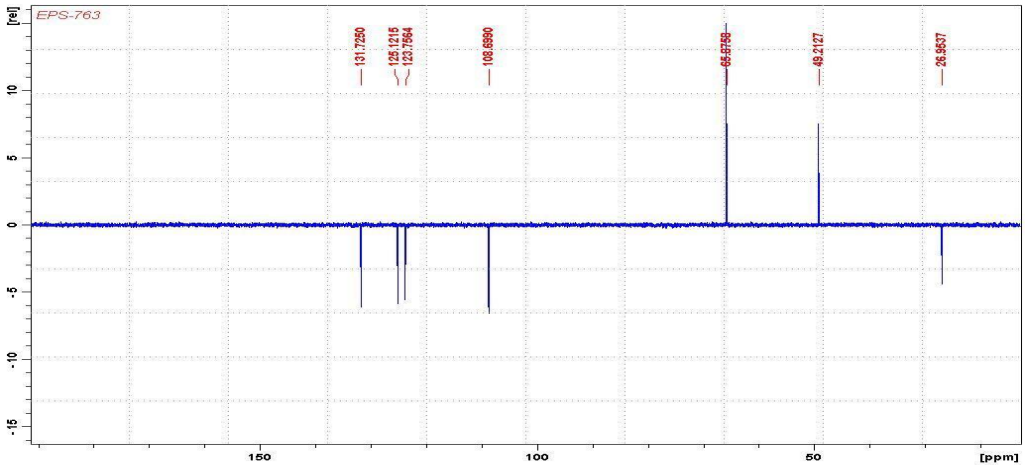


Figura 6. Spectrul DEPT-135 RMN al compusului **4**

Elucidarea justă a rezonanțelor nucleelor ^{13}C pentru atomii C-5 (™ 123.8 ppm) și C-8 (™ 143.4 ppm) a fost posibilă deasemenea, doar cu utilizarea datelor spectrului $^{1}H/^{13}C$ HMBC RMN. În particular, în calitate de dovezi elocvente privind atribuirea semnelelor, au servit cross-peak-urile la ™ 6.59/123.8 ppm și ™ 7.40/143.4 ppm (Figura 7). Alte corelații $^{1}H/^{13}C$ HMBC RMN în structura compusului **4**, care au fost importante pentru atribuirea exactă a semnalelor nucleelor ^{1}H și ^{13}C, sunt prezentate în Figura 7. Rezonanța nucleului ^{13}C pentru atomul C-2 se află în spectrul ^{13}C RMN în regiunea tipică carbonilului amidic, având valoarea ™ 173.3 ppm, iar carbonilul unității 2-oxo-propilice se găsește în regiunea tipică cetonelor, caracterizând nucleul ^{13}C din structura compusului **4**, cu deplasarea chimică în campul cel mai slab, la ™ 201.7 ppm.

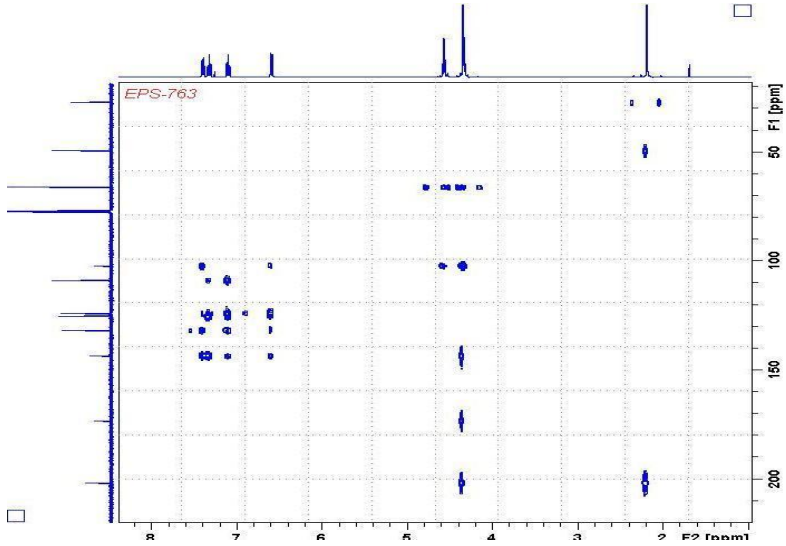


Figura 7. Spectrul $^{1}H/^{13}C$ HMBC RMN al compusului **4**

Astfel, caracteristicile spectrale RMN pentru 1-(2-oxopropil)spiro[[1,3]indolin-3-,2'-[1,3]dioxolan-2-ona **4** sunt următoarele: Spectrul ^{1}H RMN: (400.13 MHz, $CDCl_3$) δ 7.40 (d, *J*= 7,4Hz, 1H, H-4), 7.32 (td, *J*= 7,8, 1,3Hz, 1H, H-6), 7.10 (td, *J*= 7,7, 0,8Hz, 1H, H-5), 6.59 (d, *J*= 7,9Hz, 1H, H-7), 4.63 – 4.50 (m, 2H, CH_2CH_2), 4.35 (s, 2H, NCH_2), 4.34 – 4.30 (m, 2H, CH_2CH_2), 2.19 (s, 3H, Me).

Spectrul ^{13}C RMN: (100.61 MHz, $CDCl_3$) δ 201.7 (C=O), 173.2 (N-C=O), 143.4 (C-8), 131.7 (C-4), 125.1 (C-6), 123.8 (C-5), 123.7 (C-9), 108.7 (C-7), 102.0 (C-3), 65.8 ($(CH_2)_2$), 49.2 (NCH_2), 26.9 (Me).

CONCLUZII

În concluzie, au fost descrise datele analitice spectrale ^{1}H și ^{13}C RMN, care identifică structura 1-(2-oxopropil)spiro[[1,3]indolin-3,2'-[1,3]dioxolan-2-onei - compus obținut prin sinteză cu potențial de utilizare ca antidepresant. Combinarea tehnicilor experimentale 1D și 2D RMN ^{1}H/^{1}H și ^{1}H/^{13}C a permis atribuirea fără echivoc a semnalelor pentru toate nucleele de ^{1}H și ^{13}C. Exemplul oferit aici de caracterizare structurală a unui compus bioactiv sintetic se concentrează pe utilizarea RMN ca una dintre tehnicile spectrale indispensabile pentru studenții avansați în chimie organică. Lucrarea demonstrează, că spectroscopia RMN poate rezolva cu succes diverse probleme de elucidare a structurii, inclusiv caracterizarea structurală amănunțită pe baza interpretării corecte a datelor RMN 1D și 2D. În același timp, „soluționarea puzzle-ului" structurii unei substanțe, ilustrat aici, poate fi integrat în mod avantajos într-un curs practic de chimie organică și medicinală/farmaceutică, prin combinarea, de exemplu, a lucrărilor experimentale privind sinteza compușilor cu proprietăți biologice importante și identificarea structurii acestora. Interesul pentru o abordare de acest fel ar fi susținut atât de noile implicații chimice, de ex., pentru proiectarea medicamentelor neuroprotectoare, cât și de contribuția părții de analiză spectroscopică, completându-se în mod optim programa de studiu.

REFERINȚE:

1. KHALIL, A. et al. *Nuclear magnetic resonance spectroscopy for quantitative analysis: A review for its application in the chemical, pharmaceutical and medicinal domains*. Crit. Rev. Anal. Chem., 2023, vol. 53, p. 997-1011.
2. HOLZGRABE, U. et al. *NMR Spectroscopy in Pharmaceutical Analysis*, Elsevier, Amsterdam, 2008, 528 p.
3. Institute for Health Metrics and Evaluation. Depressive disorders. Disponibil: https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuries-risks/factsheets/2021-depressive-disorders-level-3-disease [Accesat 21.06.2025].
4. LV, Zh. et. al. *Development, basic information, classifications, pharmacological activities, and underlying mechanisms of medicine food homology: a review*. J. Funct. Foods, 2024, vol. 122, p. 106552.

5. NAOI, M. et al. *Type A and B monoamine oxidase in age-related neurodegenerative disorders: their distinct roles in neuronal death and survival*. Curr. Top. Med. Chem., 2012, vol. 12, p. 2177-2188.
6. TIPTON, K. F. et al. *Monoamine oxidases: certainties and uncertainties*. Curr. Med. Chem. 2004, vol. 11, p. 1965–1982.
7. BINDA, C. et al. *Structure of the human mitochondrial monoamine oxidase B: new chemical implications for neuroprotectant drug design.* Neurology, 2006, vol. 67 (7_Suppl_ 2), p. S5-7.
8. GLOVER, V. et al. *Isatin: Identity with the purified endogenous monoamine oxidase inhibitor.* J. Neurochem., 1988, vol. 51, p. 656-659.
9. PRINSLOO, I. F. et.al. *The evaluation of isatin analogues as inhibitors of monoamine oxidase*. Chem. Biol. Drug Des, 2023, vol.102, p. 1067–1074.
10. KUMAR, S. et al. *Exploration of the Detailed Structure−Activity Relationships of Isatin and Their Isomers As Monoamine Oxidase Inhibitors*. ACS Omega, 2022, vol. 7, p. 16244−16259.
11. GERONIKAKI, A. et al. *Design, synthesis, computational and biological evaluation of new anxiolytics.* Bioorg. Med. Chem., 2004, vol. 12, p. 6559–6568.
12. ŞTEFANEŢ, T. et al. *Elaborarea metodetor ftzice și chimice noi de analtză a dioxoindolinonei - un potentiat produs antidepresiv autohton*. Akademos, 2019, vol. 55, p. 52-56.
13. UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA, *Procedeu de sinteză monotopă secvenţială a β-etilenacetalilor 1-(fenacil-, acetonil)izatinelor*: Brevet MD, Inventatori: MACAEV F., STÂNGACI E., SUCMAN N., BILAN D., GORINCIOI E. Nr. depozit: a 2025 0008, data deposit: 2025.02.11.
14. IUPAC Reccommendations 1988, Fused Ring and Bridged Fused Ring Nomenclature. Disponibil: https://iupac.qmul.ac.uk/fusedring/FR53.html#551 [Accesat 24.06.2025].
15. Hans Reich collection, 1H coupling. Disponibil: https://organicchemistrydata.org/hansreich/resources/nmr/?index=nmr_index%2F1H_coupling#h-coupling17 [Accesat 24.06.2025].
16. Hans Reich collection, 13C shift. Disponibil: https://organicchemistrydata.org/hansreich/resources/nmr/?index=nmr_index%2F13C_shift#cdata01 [Accesat 25.06.2025].

N.B. *Cercetarea a fost susținută de subprogramele 010601 și 080301 finanțate de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.*

ACIDUL 4-AMINOSALICILIC ÎN CRISTALE: O INCURSIUNE STRUCTURALĂ ÎN BAZA DE DATE STRUCTURALĂ CAMBRIDGE

4-AMINOSALICYLIC ACID IN CRYSTALS: A STRUCTURAL EXPLORATION OF THE CAMBRIDGE STRUCTURAL DATABASE

CZU: 544.142.3 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.89**

Anastasia GOROBEȚ
ORCID: 0000-0002-6850-1456
E-mail: anastasia.gorobet@ifa.usm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Lilia CROITOR
ORCID: 0000-0003-0757-7358
E-mail: croitorlilia@gmail.com
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *p-Aminosalicylic acid (4-ASA), a well-established antituberculosis agent, demonstrates significant chemical versatility, allowing the formation of a wide range of crystalline architectures through diverse supramolecular interactions. This study provides a comparative analysis of 105 solid-state structures containing 4-ASA, retrieved from the Cambridge Structural Database, and categorizes them into co-crystals, organic salts, and coordination compounds. The analysis focuses on key intermolecular interactions such as hydrogen bonding, π…π stacking, and metal-ligand interactions that govern their assembly, emphasizing the structural adaptability of 4-ASA. These insights are valuable for the rational design, development, and optimization of functional crystalline materials and optimized pharmaceutical formulations based on solid-state modifications.*

Cuvinte-cheie*: acidul 4-aminosalicilic, Baza de Date Structurală Cambridge, co-cristale, compuși coordinativi, săruri organice.*

INTRODUCERE

Acidul p-aminosalicilic (4-ASA) este o moleculă cu activitate biologică pronunțată, recunoscută în special pentru eficiența sa în tratamentul tuberculozei, care continuă să atragă interesul comunității științifice datorită versatilității sale chimice și farmacologice [1, 2]. Pe lângă activitatea sa antituberculoasă, 4-ASA prezintă și proprietăți antiinflamatoare, analgezice și antibacteriene, comparabile cu cele ale sulfonamidelor [3]. În diverse lucrări au fost descrise co-cristale și săruri ale acestui compus obținute cu

molecule precum 4,4′-bipiridina, izoniazida, pirazinamida sau alți co-formeri (partenerul de co-cristalizare al unei molecule principale) farmaceutici, evidențiind potențialul acestora de a îmbunătăți solubilitatea, stabilitatea și biodisponibilitatea medicamentului [4-6]. Totodată, 4-ASA a fost utilizat ca precursor în sinteza unor derivați cu activitate antimicrobiană și antiparazitară, în realizarea unor compuși metal-organici cu proprietăți funcționale diverse, precum și în creșterea eficienței unor agenți fitosanitari [7, 8].

Molecula acidului conține trei grupe funcționale active: o grupare carboxil (-COOH) în poziția unu a nucleului aromatic, o grupare hidroxil (-OH) în poziția orto față de aceasta și o grupare amino ($-NH_2$) în poziția para (Figura 1a). Această combinație conferă moleculei capacitatea de a forma rețele extinse de legături de hidrogen, de a participa la interacțiuni supramoleculare diverse și de a acționa ca ligand în reacții de coordinare cu ioni metalici [9]. Din punct de vedere cristalografic, studiile structurale asupra formelor solide ale 4-ASA oferă informații esențiale privind modurile de împachetare, orientarea interacțiunilor intermoleculare și posibilitățile de modificare a proprietăților fizico-chimice prin formarea combinațiilor cristaline noi [4].

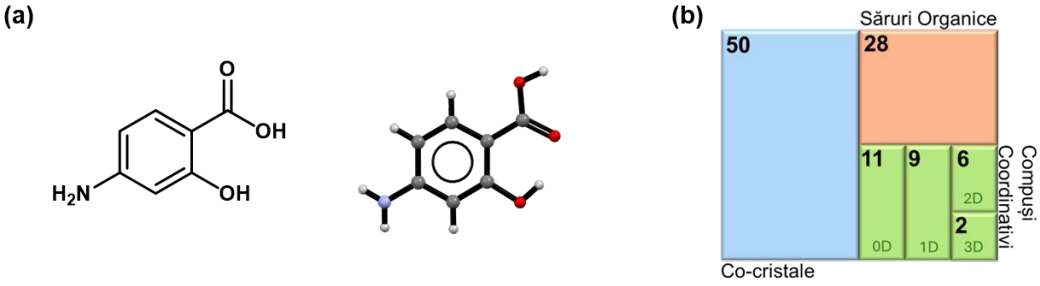


Figura 1. (a) Reprezentarea schematică și vizualizarea în MERCURY a structurii acidului 4-ASA. (b) Diagrama compușilor găsiți în BDSC ai 4-ASA

Scopul acestui articol este de a analiza formele cristaline ale 4-ASA identificate în Baza de Date Structurală Cambridge (BDSC), cu accent pe identificarea și interpretarea interacțiunilor intra- şi intermoleculare care determină arhitectura și stabilitatea acestor structuri.

MATERIALE ȘI METODE

BDSC [10] oferă o evidență completă a structurilor cristaline ale moleculelor mici organice și metal-organice publicate ale căror structuri au fost determinate cu ajutorul metodei difracției de raze X pe monocristal. Activă de peste 50 de ani, BDSC reprezintă principala platformă de partajare a datelor și cunoștințelor în domeniul chimiei structurale, cu aplicații interdisciplinare, conținutul fiind îmbogățit în continuare prin includerea datelor noi sau suplimentare.

BDSC reprezintă un instrument esențial pentru comunitatea științifică, oferind atât o arhivă standardizată a structurilor cristaline, cât și un mijloc eficient de parta-

jare a datelor. Pentru determinarea numărului de compuși care conțin 4-ASA, a fost utilizat programul ConQuest, versiunea 2025.1.1, cu acces la BDSC v.5.45(noiembrie 2023+actualizări 2024).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele căutării BDSC listează diferite structuri cristaline (105 exemple în total) în care 4-ASA apare fie ca moleculă izolată (AMSALA, AMSALA01 și AMSALA02), în calitate de sisteme co-cristaline multicomponent (50 de exemple cu solvenți și/sau co-formeri, etc.), săruri organice (28 exemple), cât și compuși coordinativi cu diverse metale (27 exemple) (Figura 1b).

Sisteme co-cristaline ale acidului 4-aminosalicilic. Pentru identificarea numărului total de co-cristale în BDSC, s-au folosit parametrii: 4-ASA a fost desenată în forma neutră 2D, iar ca filtru suplimentar au fost excluși compușii care conțin metale. Studiul structurilor cristaline care includ 4-ASA în calitate de moleculă neutră indică o capacitate notabilă de asociere cu diverși co-formeri, în special compuși heterociclici și molecule cu relevanță farmaceutică. Cele mai frecvente combinații prezintă un raport molar 1:1, însă se observă și proporții atipice, precum 1:2, 2:1 sau chiar 1:0.5 și 1:1.5. De asemenea, au fost identificate sisteme multicomponent în care 4-ASA interacționează simultan cu alți acizi sau liganzi (Tabelul 1). Majoritatea co-formerilor reprezintă molecule biologic active, precum: pirazină, 4,4'-bipiridină, izonicotinamidă, carbamazepină etc., ce au ca scop îmbunătățirea proprietăților fizico-chimice, stabilității și biodisponibilității compușilor.

Tabelul 1. Sisteme co-cristaline a 4-ASA prezenți în BDSC

Co-formeri	**Raport molar**	**Solvenți**	**Refcodul din BDSC**
1,4-dioxan	1:1	-	CUKVEK
Pirazină	1:1	-	LACSUG
Pirimidină	1:1	-	LACTAN
2-aminopirimidină	1:1	-	MOYZUX
Piridazină	1:2 /1:1	-	LACTER; LACWIY
Pirazinamidă	1:1	H_2O	URUGIY
Fenazină	1:2	-	LACTIV
4,4'-bipiridina	1:0.5 /1:1.5	-	PEXPIT; PEXPEP
4,4′-dipiridildisulfid	1:1	-	LACTOB
1,2-bis(4-piridil)etan	1:2	-	VATXOF[b]
1,2-bis(4-piridil)etilenă	1:2	-	PEXNAJ
1,3-di(4-piridil)propan	1:1 /1:1:1[a]	-	LACTUH; LACVAP
Izonicotinamidă	2:1	-	OBOVAF
Nicotinamidă	1:1 / 1:1	-/ H_2O	OFUYIZ; XICRAE
Izoniazidă	1:1	-	URUDER[c]

Izonicotinonitrilă	1:1	-	LACWEU
Nitazoxanidă	1:1	-	MABMUA
Nitazoxanidă și acidul p-aminobenzoic	0.33:1:0.67 / 0.25:1:0.75	-	MABMEK; MABMIO
Acidul 3,5-dinitrobenzoic	1:1	H_2O	COLKUL
Acidul 3,5-dinitrobenzoic și 4,4′-bipiridină	1:2:1	-	BEYZAI
Cofeină	1:1 /1:1	MeOH / -	ICEBOK; ZEQCEG
Carbamazepină	1:1 /1:2 /1:2	- / H_2O / MeOH	FAYXOV; FAYXUB; FAYYAI
Sulfadimidină	1:1	-	VUGMOZ
Teofilină	1:2	-	YUJLOG[d]
Praziquantel	1:1	MeCN	AVEJOD
[a]4-ASA:4-ASA$^-$:bpp$^+$; [b]VATXOF01, VATXOF02; [c]URUDER01, URUDER02, URUDER03, URUDER04, URUDER05, URUDER06, URUDER07, URUDER08, URUDER09, URUDER10; [d]YUJLOG01			

Analiza interacțiunilor de hidrogen în compușii co-cristalini ai 4-ASA a evidențiat următoarele tipuri principale de interacțiuni: intramoleculare OH…O și intermoleculare OH…O, NH…O, acestea fiind cele mai frecvente și stabile, având un rol major în rețelele supramoleculare, contribuind la stabilitatea și organizarea sistemelor cistaline. În schimb, interacțiunile OH…N, NH…N sunt mai rare, dar existența lor sugerează un rol specific al grupărilor amino în arhitectura rețelei de legături de hidrogen (Figura 2).

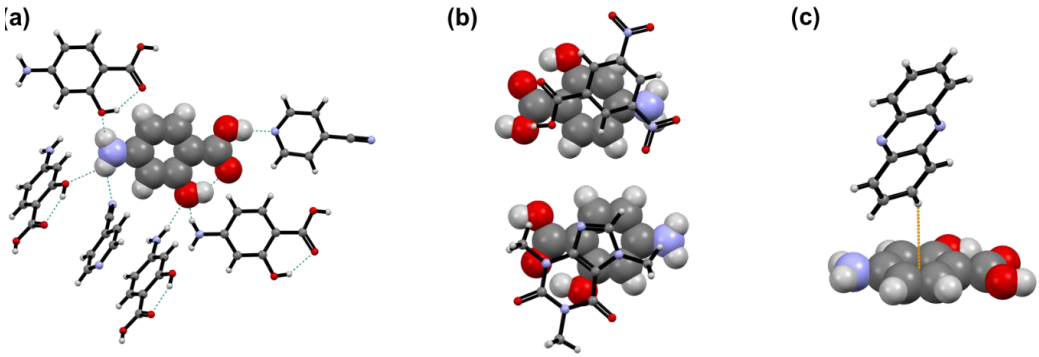


Figura 2. Tipurile de interacțiuni ne-covalente observate în co-cristalele 4-ASA (reprezentată în mod spacefill): (a) legături de hidrogen; (b) interacțiuni π…π; (c) interacțiuni de tip *x*H…π, unde *x*=C, O și S

Interacțiunile de tip stacking π…π (cu participarea exclusivă a 4-ASA) sunt prezente într-un număr semnificativ de structuri și se manifestă într-un interval destul de restrâns de distanțe (~ 3.3 – 4.0 Å). Pe lângă acestea sunt frecvente și interacțiunile *x*H…π,

unde x = C , O și S, ce au un rol semnificativ în stabilizarea și organizarea structurilor cristaline, prin suprapunerea planurilor aromatice. Aceste interacțiuni, alături de legăturile de hidrogen determină, proprietăți fizico-chimice și funcționale valoroase, precum stabilitate termică sporită [11], solubilitate controlată [12] și capacitatea de autoasamblare, relevante în special pentru proiectarea co-cristalelor cu potențial farmaceutic [13, 14].

Săruri organice ale acidului 4-aminosalicilic. Căutarea în BDSC a sărurilor organice a 4-ASA s-a efectuat prin desenarea formei anionice 2D adăugând filtru suplimentar de a exclude compușii care conțin metale. În baza analizei structurilor cristaline care includ anionul 4-aminosalicilat (4-ASA$^-$), s-au identificat mai multe tipuri de săruri, clasificate în funcție de numărul de specii participante: săruri binare (ex. CUKVAG, KEBGAB), ternare (ex. ISIFUM, XICROS) și cvaternare (ex. XCRIM, ZEQCAC). Cationii frecvent asociați sunt heterociclici aromatici, în special derivați de piridină, piridazină și pirimidină, dar și cationi aliciclici cu atomi de azot, precum piperaziniu sau morfoliniu, ori cationi alifatici simpli, de tip amoniu sau metilamoniu. În cele mai multe cazuri, structurile sunt solvatate, în principal cu molecule de apă (ex. ISIFUM, LACVET), însă sunt prezente și forme cristaline pure, lipsite de solvent (ex. CUKVIO, MOYYOQ).

În cadrul sărurilor investigate, 4-ASA$^-$ participă activ la o varietate de interacțiuni, precum legături de hidrogen și interacțiuni π…π, care contribuie la stabilizarea rețelelor cristaline. Cele mai frecvente tipuri sunt: interacțiuni intra- şi intermoleculare OH…O, interacțiunile intermoleculare NH…O, unde gruparea amino (–NH_2) al 4-ASA sau din cationii parteneri formează frecvent legături de hidrogen cu oxigenul carboxilat al 4-ASA şi a altor molecule. Interacțiunile de tip OH…N și NH…N sunt mai puțin frecvente, apar în structuri unde cationii au atomi de azot care pot participa activ în formarea legăturilor de hidrogen. Interacțiunile de tip π…π (CH…π, NH…π, OH…π) reflectă o orientare specifică a planurilor aromatice ale componentelor cristaline și joacă un rol esențial în stabilizarea și organizarea ansamblurilor supramoleculare.

Compuși coordinativi ai acidului 4-aminosalicilic. În BDSC, în cazul când a fost desenat anionul 4-ASA$^-$ şi s-a aplicat filtrul pentru prezentarea exclusivă a structurilor metalice, au fost identificate 28 de complexe metalice ale 4-ASA, cu organizare structurală diferită: 11 de tip 0D (structuri discrete), 9 de tip 1D (lanțuri), 6 de tip 2D (straturi) și 2 de tip 3D (rețele extinse). Această diversitate reflectă capacitatea acestui ligand de a genera arhitecturi variate în cadrul compușilor de coordinare.

În figura 4 este reprezentată examinarea modurilor de coordinare a 4-ASA la cationii de metal, cum ar fi cu metale alcaline și alcalino-pământoase (Na^+, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}), metale de tranziție (Ni^{2+}, Ti^{4+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Ag^+) și metale ușoare (Mg^{2+}).

Astfel, 4-ASA poate forma multiple coordinări cu cationii de metale ducând la formarea atât a compușilor complecși 0D, cât și a celor multidimensionali. Aceste structuri au fost prezentate cu proprietăți optice, biologice [15] sau de adsorbție, fiind potențial utilizabili în dezvoltarea de materiale funcționale și aplicații farmaceutice sau supramoleculare [16].

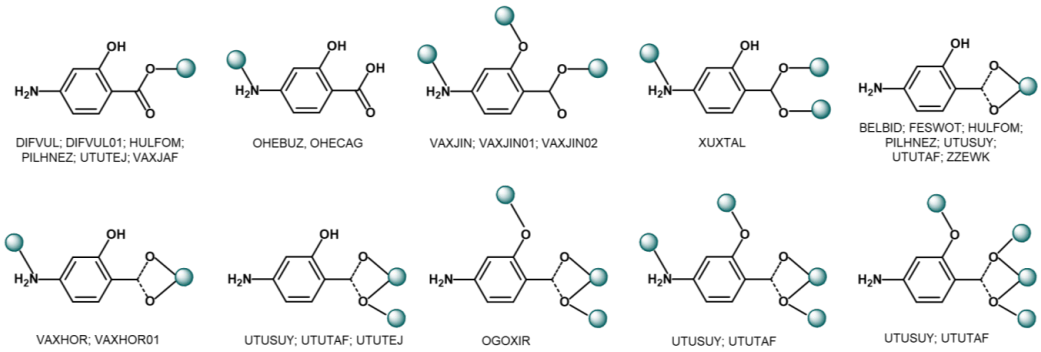


Figura 4. Diagrama schematică a modurilor de coordinare a 4-ASA la cationii de metal (reprezentat prin sfera verde)

CONCLUZII

În urma analizei datelor din BDSC, au fost identificate 105 structuri care conțin 4-ASA. Co-cristalele sunt formate, în special, cu molecule heterociclice și farmaceutice, iar stabilitatea lor este dată de legături de hidrogen și interacțiuni de tip π…π. Sărurile organice conțin anionul 4-ASA$^-$ și cationi simpli sau aromatici, iar multe dintre structuri sunt solvatate cu molecule de apă. În compușii coordinativi, 4-ASA acționează ca ligand, formând rețele cristaline cu diverse metale, atât alcaline (Na), alcalino-pământoase (Mg, Ca, Sr, Ba), de tranziție (Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ru) sau alte metale (Tl, U), variind de la structuri discrete până la rețele tridimensionale. Aceste rezultate evidențiază flexibilitatea structurală a moleculei 4-ASA și capacitatea sa să formeze diferite tipuri de structuri solide, cu aplicații în dezvoltarea de materiale funcționale și produse farmaceutice.

REFERINȚE:

1. CAIRA MR. Molecular complexes of sulphonamides. 2. 1:1 complexes between drug molecules: Sulfadimidine-acetylsalicylic acid and sulfadimidine-4-aminosalicylic acid. J Crystallogr Spectrosc Res. 1992;22(2):193–200. doi:10.1007/BF01187216.
2. TRASK AV, MOTHERWELL WDS, JONES W. Pharmaceutical co-crystallization: Engineering a remedy for caffeine hydration. Cryst Growth Des. 2005;5(3):1013–1021. doi:10.1021/cg049653t.
3. BASAVOJU S, BOSTROM D, VELAGA SP. Pharmaceutical co-crystal and salts of norfloxacin. Cryst Growth Des. 2008;8(2):631–640. doi:10.1021/cg701075a.
4. SUROV AO, SOLANKO K, BOND AD, BAUER-BRANDL A, PERLOVICH GL. Structural analysis and physicochemical properties of multicomponent crystals of p-aminosalicylic acid with pyridine derivatives. Cryst Growth Des. 2013;13(8):3561–3573. doi:10.1021/cg301798s.

5. ZHANG GGZ, LAW D, SCHMITT EA, QIU Y. Phase transformation considerations during process development and manufacture of solid oral dosage forms. Adv Drug Deliv Rev. 2004;56(3):371–390. doi:10.1016/j.addr.2003.10.011.
6. GOSWAMI PK, THAIMATTAM R, RAMANAN A. Multiple crystal forms of p-aminosalicylic acid: salts, salt co-crystal hydrate, co-crystals, and co-crystal polymorphs. Cryst Growth Des. 2013;13(1):360–366. doi:10.1021/cg3015332.
7. ANDERSON RF, GWILT PR, NELSON JA. Antitubercular activity and pharmacokinetics of some derivatives of p-aminosalicylic acid. J Pharm Sci. 1972;61(6):851–854. doi:10.1002/jps.2430610606.
8. RAWAT A, PANDEY IP. Recent advances and potential of pharmaceutical co-crystals. Int J Pharm Pharm Sci. 2016;8(6):1–8.
9. CHILDS SL, STAHLY GP, PARK A. The salt–cocrystal continuum: The influence of crystal structure on ionization state. Mol Pharm. 2007;4(3):323–338. doi:10.1021/mp060142j.
10. GROOM, C. R.; BRUNO, I. J.; LIGHTFOOT, M. P.; WARD, S. C. The Cambridge structural database. ActaCrystallographica. 2016, B72, p. 171–179.
11. FORBES, R. T., YORK, P., FAWCETT, V., & SHIELDS, L. (1992). Physicochemical properties of salts of p-aminosalicylic acid. I. Correlation of crystal structure and hydrate stability. *Pharmaceutical Research*, *9*(11), 1428–1435.
12. BODART, L., DERLET, A., BUOL, X., LEYSSENS, T., TUMANOV, N., & WOUTERS, J. (2020). Combining two antitubercular drugs, clofazimine and 4-aminosalicylic acid, in order to improve clofazimine aqueous solubility and 4-aminosalicylic acid thermal stability. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, *110*(1), 413–423. https://doi.org/10.1016/j.xphs.2020.09.024
13. JAVOOR, M. G., MONDAL, P. K., & CHOPRA, D. (2017). Cocrystals: A Review of Recent Trends in Pharmaceutical and Material Science Applications. Medicinal and Structural Research Innovations, 14(1), 1–13. doi: http://dx.doi.org/10.13005/msri/140103.
14. STAHLY, G. P. Diversity in single- and multiple-component crystals. The search for and prevalence of polymorphs and co-crystals. Crystal Growth & Design, 7(6), 1007–1026, doi: https://doi.org/10.1021/cg060838j.
15. QAHTAN, M. Q. M., BAKHITE, E. A., KUMARI, J., SAYED, A. M., KANDEEL, M., SRIRAM, D., & ABDU-ALLAH, H. H. M. (2023). Synthesis, biological evaluation and molecular docking study of some new 4-aminosalicylic acid derivatives as anti-inflammatory and antimycobacterial agents. Bioorganic Chemistry, 138, 106594. https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2023.106594.
16. GARCIA, H. C., CUNHA, R. T., DINIZ, R., & DE OLIVEIRA, L. F. C. (2011). From molecular to coordination complex: Two new supramolecular networks involving 4,4′-bipy, aminosalicylic acid and Co(II) ions. Journal of Molecular Structure, 998(1–3), 59–65. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2011.02.016.

N.B. *Autorii îşi exprimă recunoştinţă pentru sprijinul acordat prin subprogramul Proiectarea şi fabricarea de materiale inteligente cu proprietăţi avansate magnetice, de adsorbţie, luminiscente şi biologic active (acronim: MAINMALB, cod: 011202).*

SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF 1-(AZEPAN-1-YL)PROPANE-1,2-DIONE 4-PHENYLTHIOSEMICARBAZONE AND ITS COPPER(II) COMPLEXES

SINTEZA ȘI ACTIVITATEA BIOLOGICĂ A 4-FENILTIOSEMICARBAZONEI 1-(AZEPAN-1-IL)PROPAN-1,2-DIONEI ȘI A COMPUȘILOR COORDINATIVI AI CUPRULUI(II) CU ACEST LIGAND

CZU: 544.142.3:546.56:547-304.6 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.90**

Ianina GRAUR
ORCID: 0000-0002-3345-7539
E-mail: ulchina.ianina@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Vasilii GRAUR
ORCID: 0000-0001-8153-2153
E-mail: vasilii.graur@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Victor TSAPKOV
ORCID: 0000-0003-1732-3116
E-mail: vtsapkov@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Aurelian GULEA
ORCID: 0000-0003-2010-7959
E-mail: guleaaurelian@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Greta BALAN
ORCID: 0000-0003-3704-3584
E-mail: greta.balan@usmf.md
State University of Medicine and Pharmacy "Nicolae Testemitanu", Chisinau, Republic of Moldova

Carolina LOZAN-TIRSU
ORCID: 0000-0003-3831-2758
E-mail: carolina.lozan@usmf.md
State University of Medicine and Pharmacy "Nicolae Testemitanu", Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *A fost sintetizată o nouă tiosemicarbazonă 4-feniltiosemicarbazonă 1-(azepan-1-il) propan-1,2-dionă (HL) şi cinci compuşi coordinativi ai cuprului(II) [Cu(L)X] (X = Cl - (I); Br - (II); NO 3 - (III); CH 3 COO - (IV); Cl 2 CHCOO - (V)).Compuşii au fost studiaţi prin analiză elementară, spectroscopie FTIR, precum şi spectre RMN ^{1}H şi ^{13}C. Coordinarea 4-feniltiosemicarbazonei HL la atomul de cupru(II) a dus la creşterea activităţii antibacteriene şi antifungice. Activitatea compuşilor sintetizaţi este influenţată de natura restului acid prezent în compoziţia acestora. Cel mai activ compus este complexul IV.*

Cuvinte-cheie: *activitatea antibacteriană; activitatea antifungică; compuşi coordinativi ai cuprului(II);4-feniltiosemicarbazonă.*

INTRODUCTION

Thiosemicarbazones have attracted significant interest due to their diverse coordination behavior, notable biological potential, structural versatility, and ability to function as ion sensors. They are now widely recognized as a key group of sulfur-containing ligands, especially for transition metal ions. This growing interest is largely attributed to their impressive biological activities, which are closely linked to their capacity to form metal complexes.

Various 4-phenylthiosemicarbazones and their coordination compounds have been described in the literature as biologically active compounds. These compounds exhibit antimicrobial [1, 2], antifungal [3], antioxidant [4] and cytotoxic [5, 6] properties. Although 4-phenylthiosemicarbazones are frequently encountered in the literature, pyruvic acid amides 4-phenylthiosemicarbazones are practically not described. Although pyruvic acid amides themselves are often biologically active [7], the presence of their fragment in thiosemicarbazone may affect their properties. Because bearing two pronucleophilic and two proelectrophilic sites, this structural scaffold exhibits distinct chemical properties and unparalleled biological activity [8].

In this study, a new 1-(azepan-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (**HL**) and its five copper(II) coordination compounds were synthesized, and their antibacterial and antifungal activities were studied.

MATERIAL AND METHOD

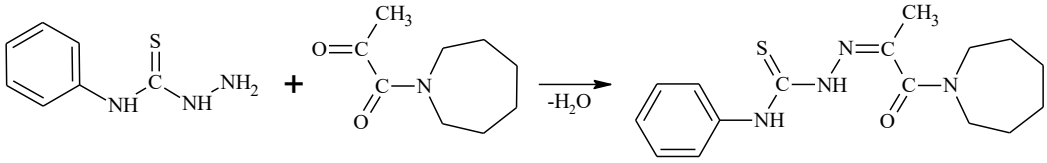
Pyruvic acid, 4-phenylthiosemicarbazide, oxalyl chloride, sodium carbonate, dichloromethane, dimethylformamide, azepane, copper(II) chloride dihydrate, copper(II) bromide, copper(II) nitrate trihydrate, copper(II) dichloroacetate monohydrate, copper(II) acetate monohydrate were obtained from Sigma-Aldrich and used without further purification. The ^{1}H and ^{13}C NMR spectra were recorded on a Bruker DRX-400, using $CDCl_3$ as a solvent. FTIR spectra were obtained on a Bruker ALPHA FTIR spectrophotometer at room temperature in the range of 4000-400 cm^{-1}. The determination of copper content in the synthesized coordination compounds, using titration methods, performed similarly to the literature procedures [9]. The resistance of solutions of complexes in methanol (20°C, 0.001 M) was measured using an R-38 rheochord bridge.

1-(Azepan-1-yl)propane-1,2-dione

1-(Azepan-1-yl)propane-1,2-dione was synthesized according to the procedure described in [10] with some modifications. Pyruvic acid (8.80 g, 0.100 mol) was dissolved in 10 mL of CH_2Cl_2 in a flat-bottomed flask. To catalyze the reaction, three drops of dimethylformamide were introduced into the mixture. A separate solution of oxalyl chloride (15.24 g, 0.120 mol) in 10 mL of CH_2Cl_2 was then gradually added to the reaction mixture under stirring at 0°C. The flask, equipped with a reflux condenser and sealed with a calcium chloride drying tube, was stirred for 1.5 hours at room temperature. The result of reaction was yellow oily liquid. A mixture of sodium carbonate (8.3 g, 0.100 mol), azepane (9.9 g, 0.100 mol) and 10 mL of CH_2Cl_2 was stirred at 0°C. 2-Oxopropanoyl chloride was added dropwise to the cooled suspension and the mixture was stirred at room temperature for an hour. The resulted mixture was filtered and washed three times with water. The compound was then purified by column chromatography using a 1:1 mixture of ethyl acetate and hexane. Yield 60%. FT-IR (ν_{max}, cm^{-1}): 1710 ($C{=}O_{ketone}$); 1628 ($C{=}O_{amide}$).

1-(Azepan-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (HL)

1-(Azepan-1-yl)propane-1,2-dione (3.38 g, 20.0 mmol) was dissolved in 25 mL of ethanol with heating. 4-Phenylthiosemicarbazide (3.34 g, 20.0 mmol) was added to this solution and the mixture continued to stir while heating for an hour (Scheme 1). The resulting pale-yellow precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol, and air-dried. Yield 83%, mp. 105-107°C.



Scheme 1. 1-(Azepan-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (HL)

General method for synthesis of copper(II) coordination compounds I-V

4-Phenylthiosemicarbazone (**HL**) was dissolved in ethanol, after that the corresponding copper(II) salt was added to the solution in a molar ratio of 1:1. As a result, precipitation of various shades of green formed. The resulting precipitates were filtered off, washed with a small amount of ethanol and dried.

Antibacterial and antifungal activity

Standard strains of *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) were used to study antibacterial activity and fungi *Candida albicans* (ATCC 10231), *Cryptococcus neoformans* (CECT 1043) were used to study antifungal activity of the HL and coordination compounds **I–V**. The minimum inhibitory concentrations (MICs, μg mL^{-1}), minimum

bactericidal concentrations (MBCs, μg mL^{-1}) and minimum fungicidal concentration (MFC, μg mL^{-1}) were determined using the method of serial dilutions in liquid broth. The tested substances were dissolved in DMSO at a concentration of 10 mg mL^{-1}. The next dilutions were made using 2% of peptone bullion.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The novel 1-(azepan-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (**HL**) was synthesized through a two-step process. In the first step, 1-(azepan-1-yl)propane-1-,2-dione was obtained by reaction between pyruvic acid, oxalyl chloride, and azepane in CH_2Cl_2. In the second step, the resulting 1-(azepan-1-yl)propane-1,2-dione reacted with 4-phenylthiosemicarbazide in ethanol in equal molar amounts. Its structure was confirmed via ^{1}H,^{13}C NMR spectroscopy.

Five novel coordination compounds with 4-phenylthiosemicarbazone (HL) were synthesized. Copper(II) complexes I-V were obtained by reaction between HL and copper(II) salts in a 1:1 molar ratio in hot ethanolic solutions. Elemental analyses of the complexes on copper suggest the general formulas [Cu(L)X] (X = Cl^- (I); Br^- (II); NO_3^- (III); CH_3COO^- (IV); Cl_2CHCOO^- (V)). The molar conductivity values of the synthesized complexes I-V are in the range 60-70 $\Omega^{-1}\cdot cm^2\cdot mol^{-1}$ suggesting that these complexes are 1:1 electrolytes.

The FTIR spectrum of HL contains the absorption bands that correspond to groups: NH, C=O, C=N and C=S. The coordination of 4-phenylthiosemicarbazone (HL) to the copper(II) atom is confirmed by the following changes in the spectra. The ν(N-H) absorption bands disappears from the FTIR spectra of the complexes I-V, which points to deprotonation of the HL. The ν(C=O) and ν(C=N) absorption bands shifted to the low frequency region. The ν(C=S) absorption band disappeared from the spectra of copper(II) complexes, but ν(C–S) absorption band appeared.

The antibacterial activity of the HL and complexes I-V were studied on a series of Gram-positive bacteria *Staphylococcus aureus* and antifungal activities were studied towards fungi *Candida albicans* and *Cryptococcus neoformans*. The obtained results in the form of minimum inhibitory/bactericidal/fungicidal concentrations are shown in Table 1. The synthesized 4-phenylthiosemicarbazone HL does not show activity against the studied microorganisms. Its coordination to copper(II) led to increased antibacterial and antifungal activity. The activity of copper(II) complexes is influenced by the nature of the acid anion. The activity of the complexes towards *Staphylococcus aureus* decreases in the following order: $CH_3COO^- > Cl^- \approx Cl_2CHCOO^- > Br^- \approx NO_3^-$. The activity of the complexes towards *Candida albicans* decreases in the following order: $Cl^- \approx CH_3COO^- > Cl_2CHCOO^- > Br^- \approx NO_3^-$. And the order for the activity towards *Cryptococcus neoformans* is: $CH_3COO^- > Cl^- \approx Cl_2CHCOO^- \approx Br^- > NO_3^-$. The most active complex is complex IV.

Table 1. Antibacterial and antifungal activity of HL and complexes I-V as MIC and MBC values in μg mL^{-1}

Compound	*Staphylococcus aureus* (ATCC 25923)		*Candida albicans* (ATCC 10231)		*Cryptococcus neoformans* (CECT 1043)	
	MIC	MBC	MIC	MFC	MIC	MFC
HL	-	-	500.0	-	250.0	-
I	7.813	7.813	62.50	-	31.25	125.0
II	15.63	31.25	250.0	-	62.50	250.0
III	15.63	62.50	250.0	-	125.0	125.0
IV	3.906	3.906	62.50	-	15.63	125.0
V	7.813	7.813	125.0	-	62.50	250.0

CONCLUSIONS

The novel 1-(azepan-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (**HL**) and its five copper(II) coordination compounds were synthesized and characterized. The studied complexes manifest antibacterial and antifungal activity. The coordination of the 4-phenylthiosemicarbazone (**HL**) to the copper(II) atom leads to the increasing of activity. The activity of copper(**II**) complexes is influenced by the nature of the acid anion. The complex **IV** is the most active one.

REFERENCES:

1. DE AQUINO, T. M., LIESEN, A. P., DA SILVA, R. E., LIMA, V. T., CARVALHO, C. S., DE FARIA, A. R., GOES, A. J. Synthesis, anti-Toxoplasma gondii and antimicrobial activities of benzaldehyde 4-phenyl-3-thiosemicarbazones and 2-[(phenylmethylene) hydrazono]-4-oxo-3-phenyl-5-thiazolidineacetic acids. In: *Bioorganic & medicinal chemistry*. 2008. nr. 1, p. 446-456. ISSN 0968-0896.
2. JOSEPH, M., KURIAKOSE, M., KURUP, M. P., SURESH, E., KISHORE, A., BHAT, S. G. Structural, antimicrobial and spectral studies of copper (II) complexes of 2-benzoylpyridine N(4)-phenyl thiosemicarbazone. In: *Polyhedron*. 2006. nr. 1, p. 61-70. ISSN 0277-5387.
3. REBOLLEDO, A. P., DE LIMA, G. M., GAMBI, L. N., SPEZIALI, N. L., MAIA, D. F., PINHEIRO, C. B., BERALDO, H. Tin (IV) complexes of 2-benzoylpyridine N(4)-phenyl-thiosemicarbazone: spectral characterization, structural studies and antifungal activity. In: *Applied organometallic chemistry*. 2003. nr. 12, p. 945-951. ISSN 1099-0739.

4. PRATHIMA, B., RAO, Y. S., RAMESH, G. N., JAGADEESH, M., REDDY, Y. P., CHALAPATHI, P. V., REDDY, A. V. Synthesis, spectral characterization and biological activities of Mn (II) and Co (II) complexes with benzyloxy-benzaldehyde-4-phenyl-3-thiosemicarbazone. In: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2011. nr. 1, p. 39-44. ISSN 0584-8539.
5. MANSOUR, A. M., KHALED, R. M., RADACKI, K., SHEHAB, O. R., MOSTAFA, G. A., ALI, E. A., ABO-ELFADL, M. T. Palladium (II) Complexes of 4-Phenyl-3-thiosemicarbazone Ligands: Insights Into Cytotoxic Properties and Mode of Cell Death. In: *Chemistry & Biodiversity*. 2024. nr. 5. 202400363. ISSN 1612-1880.
6. PEREZ-REBOLLEDO, A., AYALA, J. D., DE LIMA, G. M., MARCHINI, N., BOMBIERI, G., ZANI, C. L., BERALDO, H. Structural studies and cytotoxic activity of N(4)-phenyl-2-benzoylpyridine thiosemicarbazone Sn (IV) complexes. In: *European journal of medicinal chemistry*. 2005. nr. 5, p. 467-472. ISSN 1768-3254.
7. DEIENNO, A. C., GOMES, R. H. M., ROSSI, A. L. D., SIMÕES, R. P., BATAGIN-NETO, A. Exploring the antiviral activity of α-ketoamides compounds through electronic structure calculations: a structure-activity relationship study. In: *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*. 2025. nr. 6, p. 2824-2839. ISSN 0739-1102.
8. AARON, M. B., DEVI, P. S., ANILKUMAR, G. Recent Advances in the Catalytic Synthesis of α-Ketoamides. In: *The Chemical Record*. 2025. p. e202500008. ISSN 1527-8999.
9. LEOVAC, V. M., VOJINOVIĆ, L. S., MESAROŠ-SEČENJI, K. F., ČEŠLJEVIĆ, V. I. Transition metal complexes with thiosemicarbazide-based ligands, part 46: Synthesis and physico-chemical characterization of mixed ligand cobalt (III)-complexes with salicylaldehyde semi-, thiosemi-an. In: *J. Serb. Chem. Soc*. 2003. nr. 68, p. 919-927. ISSN 0352-5139.
10. GRAUR, I., BESPALOVA, T., GRAUR, V., TSAPKOV, V., GARBUZ, O., MELNIC, E., BOUROSH, P., GULEA, A. A new thiosemicarbazone and its 3*d* metal complexes: Synthetic, structural, and antioxidant studies. In: *Journal of chemical research*. 2023. nr.6. ISSN 2047-6507.

N.B. *The work was carried out within the subprograms „Synthesis and study of new materials based on complexes with multifunctional ligands and with useful properties in medicine, biology and technology” (code: 010602) within the institutional project.*

COMPUȘI COORDINATIVI AI BAZELOR SCHIFF CU SĂRURILE DE CUPRU(II). SINTEZA, ANALIZA ȘI POTENȚIALE APLICAȚII BIOLOGICE

COORDINATION COMPOUNDS OF SCHIFF BASE WITH SALTS OF COPPER(II). SYNTHESIS, ANALYSIS AND POTENTIAL BIOLOGICAL APPLICATIONS

CZU: 544.142.3:546.56 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.91**

Timur KUROGLO
ORCID: 0009-0003-6039-3651
E-mail: kuroglo.timur@usm.md
Universitatea din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Roman RUSNAC
ORCID: 0000-0002-5713-5251
E-mail: roman.rusnac@usm.md
Universitatea din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Schiff bases represent an important class of organic compounds, synthesized from heterocyclic compounds,they have received particular attention due to their wide spectrum of applications. They are used in medicine due to its antimicrobial properties, etc. Schiff bases are used as ligands in organic synthesis to obtain coordination compounds based on different salts of Cu(II). The main purpose of this study is the synthesis of coordination compounds in base of Cu(II) salts such as $CuBr_2$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ and the analysis of their biological properties. The synthesized compounds were characterized by FT – IR spectroscopy. In total were obtained 5 coordination compounds which were tested for the presence of different biological actyvities such as: anticancer, antiviral and anti-inflammatory,etc.*

Keywords: *coordination compounds; biological properties; schiff bases; synthesis; spectroscopies.*

INTRODUCERE

Baze Schiff joacă un rol important în chimia coordinativă în calitate de liganzi după descoperirea acestora de către chimistul german Hugo Schiff în anul 1864. Acestea reprezintă o clasă importantă de compuși organici care posedă diferite proprietăți biologice precum: antibacterial, antiviral, anti-inflamator, anticancer,etc. Conform datelor descrise în literatura de specialitate baze Schiff se obțin în urma reacției de condensare a unor compuși aromatici, alifatici, aldehidici sau aminici. Din punct de vedere structural o bază Schiff (cunoscută sub numele de imină sau azometină) este un analog al unei cetone sau aldehide în componența căreia gruparea carbonil (C=O)

este înlocuită cu gruparea iminică sau azometinică (Figura 1). O bază Schiff este un compus chimic care conține legătura (C=N) specifică pentru azometine care poate fi ușor observată în spectrul IR la 1615 cm^{-1} . În literatura sunt cunoscute două forme ale bazei Schiff prezentate în figura 1 [1].

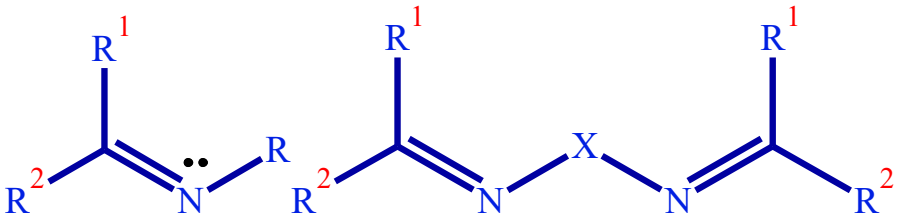


Figura 1. Formule generale ale bazei Schiff (Forma 1, 2). Unde: R = Alchil, Aril

Compușii de acest tip se găsesc în natură. Demult timp baze Schiff au fost o mare sursă de inspirație pentru majoritatea chimiștilor și biochimiștilor. Acestea sunt numiți liganzi auxiliari deoarece modifică structura și reactivitatea ionului de metal tranzițional din centrul compusului coordinativ. La fel acestea sunt utilizați în calitate de catalizatori: acide, reducătoare și oxidare. De asemenea azometine sunt utilizați în nanotehnologie și în procesul de producere a energiei solare. În literatura de specialitate sunt cunoscute diferite tipuri de baze Schiff care sunt utilizați la sinteza compușilor coordinativi. Sinteza compușilor coordinativi în baza unei azometine (HL) se realizează conform procedurii descrise în majoritatea articolelor de specialitate prin reacția chimică dintre ligandul sintetizat și o sare a unui metal precum: Cu(II), Ni(II), etc. Structura compușilor coordinativi precum și structura ligandului se confirmă cu ajutor tehnicilor spectrale: FT – IR, RMN(^{1}H, ^{13}C), etc.

Conform cercetărilor descrise de către autorii articolului [1] o baza Schiff se obține la interacțiunea unei aldehide sau cetone cu o amină primară după mechanismul prezentat în figura 2.

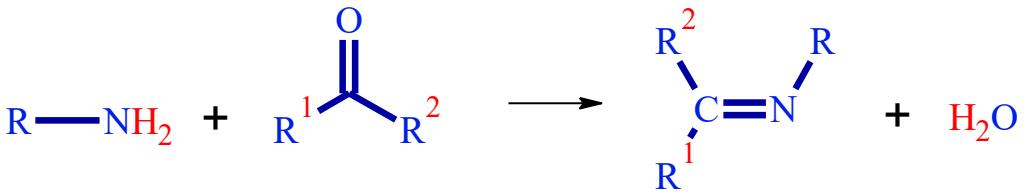


Figura 2. Schema generală de sinteză a bazei Schiff. Unde R = Aril, Alchil [5]

Formarea bazei Schiff dintr-o aldehidă sau cetonă este o reacție reversibilă și de obicei are loc în prezența unui catalizator acid sau bazic la încălzire după cum este prezentat în figura 3.

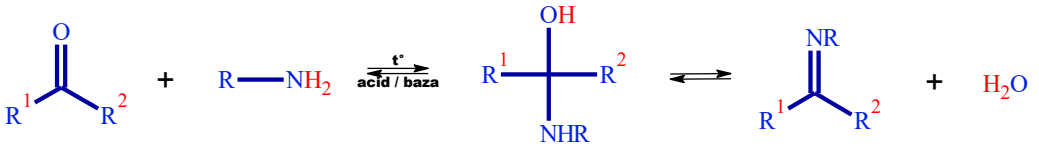


Figura 3. Reacția reversibilă de formare a bazei Schiff [5]

În 2022 autorii [1] au relatat despre metode de sinteză ale bazelor schiff precum:1) sinteza directă a ligandului cu formarea compusului coordinativ 2) ,,sinteza ligandului", 3) rearanjarea compușilor heterociclici (oxazole, tiazole). La fel sunt cunoscute două căi de sinteză ale bazelor Schiff [3]: 1) metode clasice (reflux, agitarea la agitator magnetic), 2) "metode ecologice" (sinteza cu iradierea cu microunde, sinteza cu ultrasunet). Schema generală corespunzătoare acestor metode este prezentată în figura 4.

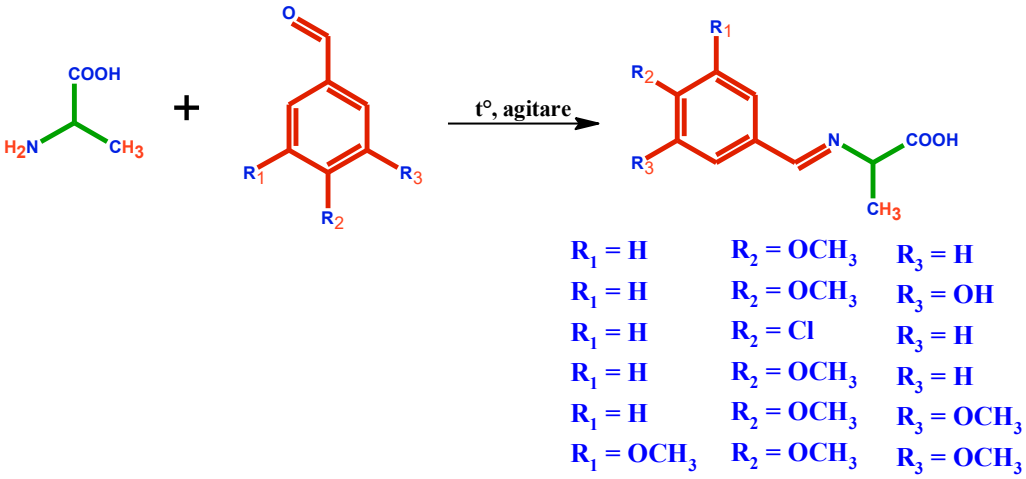


Figura 4. Schema generală de sinteză a bazelor Schiff folosind diferite metode [5]

Compuși coordinativi ai metalelor de tranziție Cu(II),Ni(II),Mn(II) au primit o atenție deosebită datorită proprietăților sale biologice precum: antivirale, anticancerigene, antibacteriene. Cupru - este un element esențial pentru majoritatea organismelor aerobe și este utilizat în calitate de element structural, catalitic și participă în mai multe procese biologice. Cu joacă un rol important în medicină [3]. Compușii coordinativi ai Cu(II) prezintă interes de studiat datorită proprietăților lor anticancerigene. În figura 5 sunt prezentate niște formule de structură ale combinațiilor coordinative ai Cu(II) cu potențiale proprietăți anticancerigene [4].

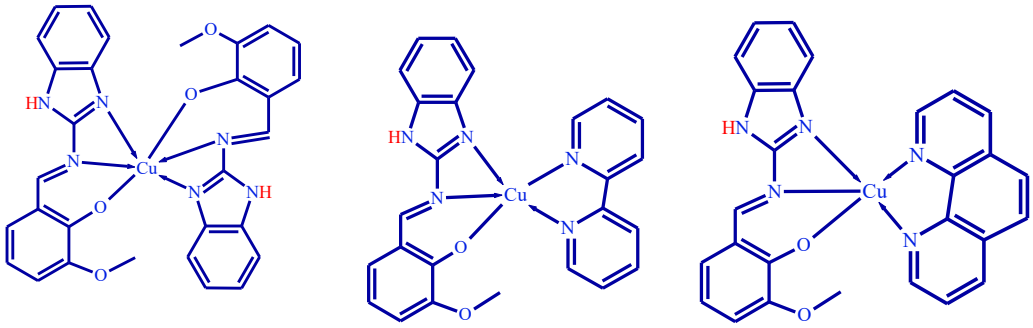


Figura 5. Formule de structură ale compușilor coordinativi de Cu(II) [4]

Autorii studiului [4] au descris sinteza compusului coordinativ [Cu(BImSB)$_2$] **(1)** care a fost sintetizat conform procedurii următoare: Într-un balon pentru sinteză se adaugă (1 mmol) de ligand (HL^1) dizolvat în 5 mL de metanol. La soluția obținută se adaugă (0.5 mmol) de soluție metanolică de $CuNO_3 \cdot 3H_2O$ prin picurare. Amestecul obținut se agită timp de 4 ore. Sedimentul format se filtrează și usucă în execator (Figura 6).

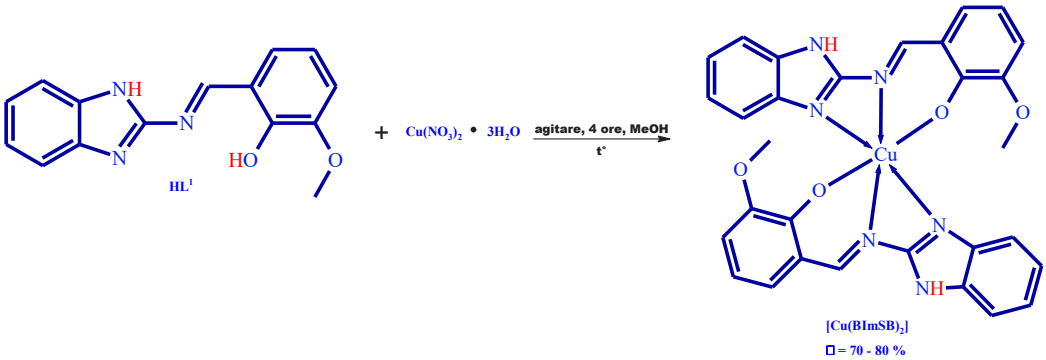
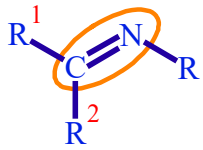


Figura 6. Schema de sinteză a compusului coordinativ [Cu(BImSB)$_2$] **(1)** [4]

Conform datelor prezentate în literatura de specialitate structura compușilor coordinativi ai Cu(II) pe baza bazelor schiff se confirmă cu ajutorul analizelor sprectrale precum: FT-IR, UV-*vis* și RMN (^{1}H și ^{13}C). Datele caracteristice ale acestor analize sunt prezentate în tabelul 1. [5].

Tabelul 1. Unele date caracteristice la caracterizarea bazelor Schiff prin metode spectroscopice

Ligand (HL)	**IR, cm^{-1}**	**RMN(^{1}H,^{13}C), δ ppm**	**UV – *vis*, λ_{max}(nm)**

 baza schiff	1578 - 1562	164.08 – 160.62	303, 365 nm

În literatură sunt cunoscute diferite proprietăți biologice ale compușilor coordinativi ai:Cu(II), Ni(II) și Zn(II) etc, cum ar fi: anti – viral, anti – cancer, anti – bacterial, etc.

Cancer - este o boală care afectează pe toți oameni din lume. Există mai mult de o sută de varietăți ale cancerului. Fiecare tip de cancer se clasifică în funcție de tipul organului care este afectat. În anul 2012 Organizația Mondială a Sănătății (OMS) a declarat că la nivel mondial au apărut aproximativ 4 milioane de cazuri de cancer și 8,2 milioane de cazuri mortale.

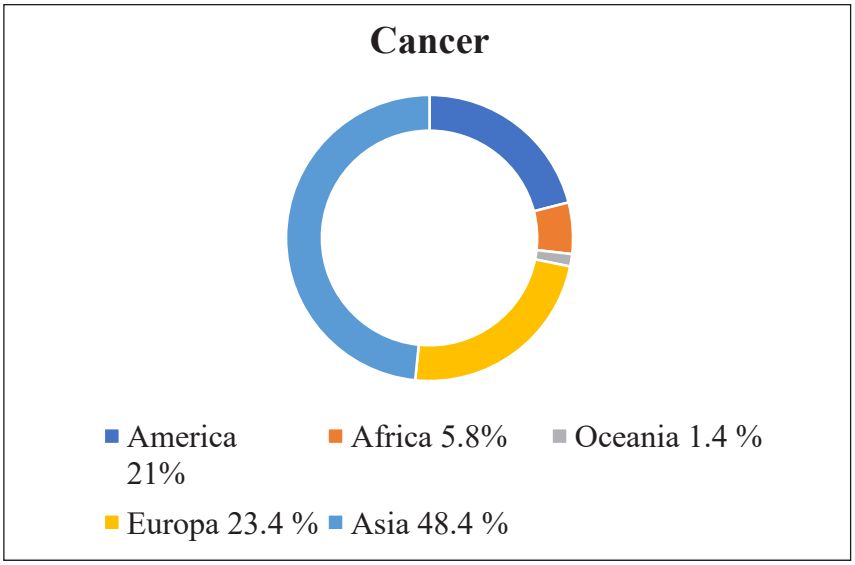


Figura 7. Datele statistice la activitatea anti-cancer din 2018

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru sinteza 2-{[(4-hidroxifenil)imino]metil}fenolului (HL^1) a fost realizată reacția chimică dintre 4 – aminofenol și aldehida salicilică. Într – un balon rotund pentru sinteză se introduc (50 mmoL) de 4 – aminofenol apoi se adaugă (50 mmoL) de aldehidă salicilică. Amestecul se agită o oră (control cromatografic, R_f= 0.30; eluenți: cloroform – acetonitril (1:3)). Solidul rezultat a fost filtrat și recristalizat din etanol. Cristalele

obținute au fost uscate în exicator cu $CaCl_2$. Formula de structură a ligandului sintetizat (HL^1) a fost confirmată cu ajutorul spectroscopiei FT – IR.

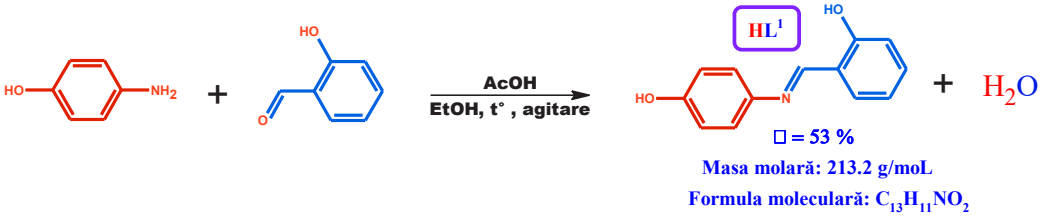


Figura 8. Sinteza 2-{[(4-hidroxifenil)imino]metil}fenolului (HL^1)

Sinteza compușilor coordinativi

Sinteza compușilor coordinativi (1-5) a fost realizată conform procedurii următoare*:* Într-un balon rotund pentru sinteză echipat cu deflegmator se introduc (1 mmoL) de 2-{[(4-hidroxifenil)imino]metil}fenolul (HL^1) și (1 mmoL) de o sare de Cu(II) precum: $CuBr_2$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$,etc, dizolvați în etanol-apă (1:4), raportul molar al reagenților fiind (1:1). Amestecul obținut a fost agitat timp de 2 ore, după aceasta produsul solid precipitat a fost filtrat (în cazul formării sedimentului). Structura compușilor obținuți a fost confirmată cu ajutorul sprectroscopiei - FT – IR.

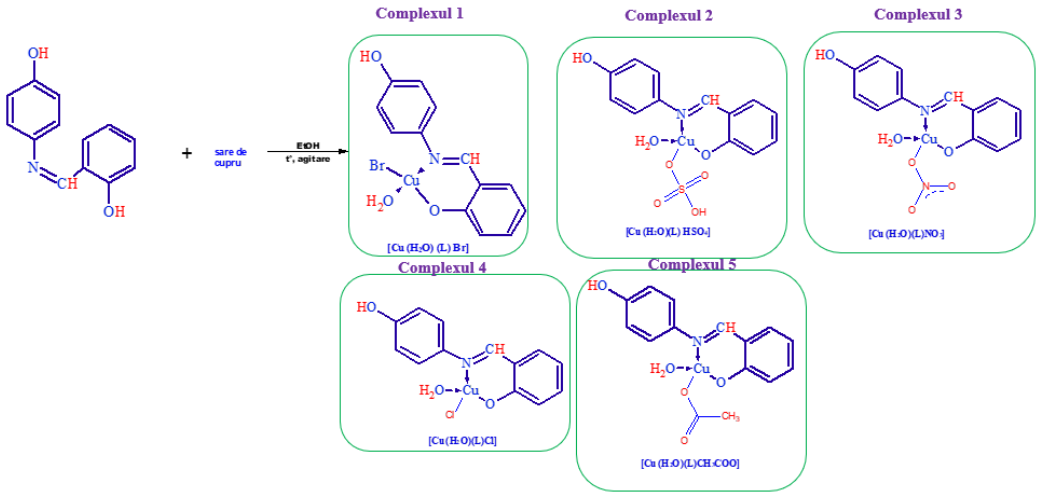
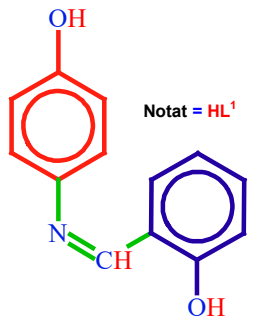


Figura 9. Calea de reacție pentru sinteza compușilor coordinativi (1 – 5)

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Tabelu 2. Unele date caracteristice obținute la sinteza compușilor coordinativi (1 – 5)

Ligand	Formula compusului	η(%)	Culoarea
	[Cu(L¹)(H₂O)SO₄] **(1)**	70	brun
	[Cu(L¹)(H₂O)Cl] **(2)**	90	negru
	[Cu(L¹)(H₂O)NO₃] **(3)**	85	brun
	[Cu(L¹)(H₂O)CH₃COO]**(4)**	63	negru
	[Cu(L¹)(H₂O)Br] **(5)**	87	negru

Tabelul 3. Frecvențele de întindere metal – ligand (cm^{-1}) pentru compuși coordinativi (1 – 5)

Vibrațiile caracteristice (cm^{-1}) ale compușilor coordinativi (1 – 5)				
Formula moleculară	**ν(OH), cm^{-1}**	**ν(C=N), cm^{-1} iminic**	**ν(Cu-O), fenolic**	**ν(Cu-N), cm^{-1}**
(HL¹) **(1)**	-	1613	-	-
[Cu(L¹)(H₂O)Cl] **(2)**	2967	1585	522	503
[Cu(L¹)(H₂O)NO₃] **(3)**	2983	1614	504	532
[Cu(L¹)(H₂O) CH₃COO] **(4)**	2655	1607	530	449
[Cu(L¹)(H₂O)Br] **(5)**	3102	1608	501	596

CONCLUZII

A fost studiată o gamă largă de surse bibliografice de ultimă oră, utilizând baze de date precum: CCDC; SciFinder; Reaxys, de unde putem afirma - structura compușilor coordinativi în baza 2-{[(4-hidroxifenil)imino]metil}fenolului (HL¹) nu este cunoscută în literatura de specialitate. De aceea prezintă interes de studiat și de obținut compușii respectivi datorită potențialului său farmacologic.

REFERINȚE:

1. HOWSAUI, H. B., SHARFALDDIN, A. A., ABDELLATTIF, M. H., BASALEH, A. S., & HUSSIEN, M. A. (2021). Synthesis, spectroscopic characterization and biological studies of Mn(II), Cu(II), Ni(II), Co(II) and Zn(II) complexes with new Schiff base of 2-((pyrazine-2-ylimino) methyl) phenol. În: *Applied Sciences*,*11*(19),9067.
2. SANTINI, C., PELLEI, M., GANDIN, V., PORCHIA, M., TISATO, F. AND MARZANO, C., 2014. Advances in copper complexes as anticancer agents. În: *Chemical reviews*,*114*(1), pp.815-862.
3. ALAJMI, M.F., HUSSAIN, A., ALSALME, A. AND KHAN, R.A., 2016. In Vivo assessment of newly synthesized achiral copper (II) and zinc (II) complexes of a benzimidazole derived scaffold as a potential analgesic, antipyretic and anti-inflammatory. În: *RSC Advances*, *6*(23), pp.19475-19481.
4. ACHPARAKI, M., E. THESSALONIKEOS, H. TSOUKALI, O. MASTROGIANNI, E. ZAGGELIDOU, F. CHATZINIKOLAOU, N. VASILLIADES et al. "Schiff Bases and Their Metal Complexes: Synthesis, Structural Characteristics and Applications. În: "*Intech* 1 (2012): 13.

OPTIMIZAREA EXTRACȚIEI ASISTATE CU ULTRASUNETE A COMPUȘILOR BIOACTIVI DIN SEMINȚELE DE *CANNABIS SATIVA L.*

OPTIMIZATION OF THE ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM *CANNABIS SATIVA L.* SEEDS

CZU: 542.943'78:633.854.434 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.92**

Angela LIS
ORCID: 0000-0003-1111-7485
E-mail: angela.lis@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Viorica GLADCHI
ORCID: 0000-0002-5847-4466
E-mail: viorica.gladchi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Elena BUNDUCHI
ORCID: 0000-0003-2275-9918
E-mail: elena.bunduchi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Vladislav BLONSCHI
ORCID: 0000-0001-8628-6756
E-mail: vlad.blonschi@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This study investigates the application of modern extraction techniques for isolating bioactive compounds from Cannabis sativa L. (hemp) seeds and characterizes the resulting extracts in terms of total phenolic content, flavonoid concentration, and antioxidant activity. The results demonstrate that hemp seed extracts contain a diverse range of biologically active compounds, including approximately 239 mg GAE/g seeds of polyphenols and 177 mg QE/g seeds of flavonoids. The ultrasound-assisted extraction (UAE) method was optimized using a 50% ethanol and water solvent system, which enhanced the recovery of these compounds. Furthermore, the antioxidant capacity of the extracts was confirmed via the ABTS cation radical decolorization assay, with inhibition values ranging from 9.55% to 101.91%, indicating a strong potential for use in cosmetic products.*

Keywords*: Cannabis sativa L., antioxidant activity, polyphenols, flavonoids, ABTS.*

INTRODUCERE

Cânepa (*Cannabis sativa L.*) este o plantă erbacee din familia *Cannabaceae*, cultivată pe scară largă la nivel global. În ultimele decenii, interesul științific pentru această specie a crescut considerabil, ca urmare a valorii sale nutriționale, farmaceutice și cosmetice. Deși, în mod tradițional, cânepa era cultivată pentru obținerea fibrelor textile din tulpină și a uleiului din semințe, multiplele sale utilizări terapeutice sunt documentate de peste 5000 de ani [1].

Semințele de cânepă sunt mici, rotunde, de culoare maro închis, având un diametru cuprins între 3 și 5 mm. Acestea conțin 20–38% proteine, 30–40% fibre și 19–38% ulei. Studiile arată că coaja semințelor conține o cantitate mai mare de polifenoli decât miezul. În compoziția plantei se regăsesc numeroși compuși fenolici, precum acizi fenolici, amide fenolice, flavonoide (flavone, flavanoli, flavanone) [1, 2]. Dintre compușii bioactivi specifici *Cannabis sativa L.*, canabinoizii (fitocanabinoizii) ocupă un loc central. Cei mai cunoscuți sunt tetrahidrocanabinolul (THC) și canabidiolul (CBD). Extractele din frunze și inflorescențe de cânepă industrială sunt bogate în terpene volatile și fitocanabinoide, CBD-ul fiind apreciat pentru numeroasele proprietăți terapeutice. Produsele care conțin CBD, precum uleiuri, creme, unguente sau capsule, sunt asociate cu ameliorarea unor afecțiuni dermatologice (eczeme, psoriazis), inflamatorii (artrită reumatoidă), oncologice sau neurologice (scleroză multiplă). Pe lângă canabinoizi, cânepa conține o gamă variată de compuși bioactivi valoroși, precum polifenoli, flavonoide, peptide bioactive, tocoferoli, carotenoizi și fitosteroli, al căror conținut este influențat de factori genetici și agroecologici. Inflorescențele soiurilor industriale sunt o sursă importantă de polifenoli, responsabili pentru efectele antioxidante, antiinflamatoare, neuroprotectoare, antihipertensive, antiproliferative și hipocolesterolemiante [1-3].

Interesul crescut pentru utilizarea ingredientelor naturale în industria cosmetică a condus la dezvoltarea unor tehnologii moderne și ecologice pentru extracția compușilor activi. Metodele convenționale, bazate pe solvenți organici și temperaturi ridicate, pot duce la degradarea compușilor sensibili. Din acest motiv, tehnologiile verzi de extracție, cu eficiență crescută și impact redus asupra mediului, au devenit o alternativă viabilă. Dintre acestea, extracția asistată cu ultrasunete (UAE) s-a remarcat prin avantajele sale multiple: timp redus de extracție, temperaturi scăzute, consum minim de solvent și energie, și eficiență ridicată în extragerea compușilor termolabili. În plus, UAE contribuie la inactivarea enzimelor degradative și a microorganismelor, ceea ce poate extinde perioada de valabilitate a extractelor. Mai multe studii confirmă eficiența metodei UAE în extragerea canabinoizilor și flavonoidelor din frunze și inflorescențe de *Cannabis sativa L.* [1-3].

În acest context, scopul prezentului studiu constă în optimizarea procesului de extracție a compușilor cu activitate antioxidantă din semințele de *Cannabis sativa L.*, caracterizarea compoziției chimice a extractelor obținute și evaluarea potențialului acestora de utilizare în formulări cosmetice de tip cremă.

MATERIALE ȘI METODE

Cercetarea a fost efectuată în Laboratorul de Cercetări Științifice a Departamentului Chimie Industrială și Ecologică „Academician Gheorghe Duca", Facultatea de Chimie și Tehnologie Chimică, Universitatea de Stat din Moldova.

Reactivi și aparate

Substanțele utilizate în studiu au fost chimic pure. Semințe de cânepă (*Cannabis sativa L.*), supliment alimentar procurat de la distribuitorul „MIRA OSF SRL", carbonat de sodiu; nitrit de sodiu; persulfat de potasiu; acid clorhidric; clorură de aluminiu; hidroxid de sodiu (NaOH); alcool etilic (C_2H_5OH), *Ecochimie;* 3-etilbenzotiazolina-6-acid sulfonic (ABTS); reactivul Folin-Ciocâlteau; trolox; *Sigma-Aldrich, Germania*. Omogenizator, model IKA Eurostar 60 digital; ultrasonificator, model JP Selecta; pH-metru, model Consort C11; cântar analitic; etuvă model SNOL 4/1300; exicator; termostat, model Memmert WTB6; centrifugă, model Gyrozen 416; spectrofotometru UV-VIS model T80+, baie ultrasonică cu încălzire Bandelin Sonorex.

Organizarea experimentului

Prepararea extractelor

Semințele de *Cannabis sativa L.* au fost măcinate fin într-un mojar de porțelan, după care s-au cântărit probe reprezentative de material vegetal. Acestea au fost tratate cu un solvent hidroalcoolic (etanol 50%) sau cu apă distilată, în rapoarte solid–lichid 1. Amestecul rezultat a fost supus extracției asistate cu ultrasunete (UAE), utilizând un generator cu frecvență controlată (30 kHz), timp de 10–60 minute, la temperatura constantă de 40 °C. După tratament, probele au fost răcite la temperatura camerei, filtrate prin hârtie de filtru și extractele lichide colectate. Extractele au fost concentrate prin evaporare, conform metodologiei descrise în literatura de specialitate [2, 3].

Determinarea conținutului total de compuși fenolici (CTP)

Cantitatea totală de compuși fenolici a fost determinată prin metoda Folin–Ciocâlteu. În mediu bazic, compușii fenolici reduc ionii de molibden, formând un complex albastru, cu absorbție maximă în intervalul 750–765 nm. Acidul galic a fost utilizat ca standard de referință, iar rezultatele au fost exprimate în mg echivalenți acid galic/L de extract (mg EAG/L), pe baza ecuației dreptei $y = 0{,}005x + 0{,}0112$, *(R^2 = 0,9972)* obținute din curba de etalonare [4].

Determinarea conținutului total de flavonoide (CTF)

Conținutul total de flavonoide a fost determinat prin metoda colorimetrică cu clorură de aluminiu. Reacția dintre flavonoide și ionii de aluminiu conduce la formarea unui complex stabil, detectabil spectrofotometric. Quercetina a fost utilizată ca standard, iar rezultatele au fost exprimate în mg echivalenți quercetină/L de extract (mg EQ/L), calculându-se pe baza ecuației dreptei *y=0,016x+0,0574; (R^2=0,9912)*, din curba de etalonare [5].

Evaluarea activității antioxidante

Activitatea antioxidantă a fost evaluată utilizând metoda cation radicalului ABTS$^{\bullet+}$. Metoda se bazează pe capacitatea antioxidanților din extract de a reduce radicalii ABTS$^{\bullet+}$, determinând o scădere de absorbție măsurabilă spectrofotometric [6].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Această cercetare are ca obiectiv evaluarea compoziției extractelor obținute din semințele de *Cannabis sativa L.*, investigarea influenței unor parametri operaționali asupra procesului de extracție în vederea optimizării randamentului de compuși fenolici și explorarea potențialului de aplicare a acestora în industria cosmetică.

În etapa preliminară a fost evaluată calitatea semințelor prin analiza caracteristicilor organoleptice, iar conținutul de umiditate a fost determinat prin metoda gravimetrică. Rezultatele au arătat că semințele utilizate prezentau un conținut de umiditate de 5,59%, ceea ce indică o stare corespunzătoare pentru extracție. Conform recomandărilor privind păstrarea, umiditatea semințelor de cânepă trebuie să fie sub 10%, pentru a preveni degradarea și contaminarea microbiologică (bacterii, mucegaiuri). Astfel, semințele analizate au respectat standardele de depozitare.

Procedura de extracție a fost realizată la temperatura de 40 °C, utilizând sonicare cu frecvență controlată, în prezența celor doi solvenți menționați. Pentru determinarea raportului optim solid–lichid (S/L), au fost testate mai multe variante: 1:20, 1:15, 1:10, 1:7,5 și 1:5 (m/v).

Fiecare dintre probele pregătite pentru extracție a fost supusă tratamentului cu ultrasunete pentru durate diferite: 10, 20, 30, 40 și 60 de minute. Temperatura în timpul tratamentului a fost menținută constantă 40 °C, iar frecvența ultrasunetelor utilizate a fost de 30 kHz. După tratamentul cu ultrasunete, toate probele au fost filtrate și utilizate pentru determinările cantitative.

Determinarea conținutului total de compuși fenolici (CTP)

Extractele obținute s-au folosit pentru determinarea CTP prin metoda cu utilizare a reactivului Folin-Ciocâlteau, rezultatele sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. CTP în extractele din semințe de cânepă, pretratate cu ultrasunet timp de 10-60 min, metoda Folin-Ciocâlteau **[*date proprii*]**

	nr. probei	**Solvent C_2H_5OH**					**Solvent H_2O**
		10 min	20 min	30 min	40 min	60 min	40 min
C_{tot} de polifenoli, mg EAG/g semințe	1	8	7	38	73	73	123
	2	28	19	29	82	44	239
	3	28	26	53	88	39	150
	4	10	57	56	38	50	123
	5	54	44	50	75	73	34

1 – 1:20 S/L; 2 – 1:15 S/L; 3 – 1:10 S/L; 4 – 1:7,5 S/L, 5 – 1:5 S/L.

Rezultatele obținute indică faptul că cea mai eficientă extracție a polifenolilor s-a realizat atunci când raportul solid–lichid (S/L) a fost de 1:10 și a atins valori de până la 88 mg EAG/g, conținut similar cu cele prezentate în literatura de specialitate. Atât creșterea, cât și reducerea acestui raport au condus la scăderea conținutului total de polifenoli în extract. La fel s-a stabilit că timpul optim de pretratare cu ultrasunete este 40 min.

Comparând extractele hidroalcoolice cu cele apoase, s-a constatat că conținutul de polifenoli a fost de aproximativ două până la trei ori mai mare în extractele apoase și a atins valori de până la 239 mg EAG/g semințe de cânepă, care sunt de 2 – 3 ori mai mare decât cele raportate în literatură. La fel s-a stabilit că raportul optim solid–lichid (S/L) atunci când apa s-a folosit în calitate de solvent, a fost de 1:15. Acest rezultat poate fi explicat prin localizarea polifenolilor predominant în stratul extern al semințelor (coajă), sub formă de compuși solubili în apă, cum ar fi acidul ferulic, acidul cafeic ș.a. Acești compuși prezintă caracter polar, fiind extrași mai eficient în apă, în special dacă sunt prezenți sub formă de glicozide. Aplicarea ultrasunetelor a condus la creșterea eficienței extracției apoase, prin efectul de cavitație care determină schimbarea structurii seminței și favorizează transferul de masă. De asemenea, tratamentul cu ultrasunete facilitează eliberarea polifenolilor localizați în vacuole sau legați de macromolecule celulare.

Conținutul de polifenoli din extractele apoase obținute din semințele de cânepă a fost cuprins în intervalul 34 – 239 mg EAG/g semințe de cânepă. Pe baza rezultatelor experimentale, extracțiile ulterioare au fost realizate utilizând un timp de pretratare cu ultrasunete de 40 de minute.

Determinarea conținutului total de flavonoide (CTF)

Conținutul total de flavonoide (CTF) din extractele obținute a fost determinat utilizând metoda bazată pe reacția cu clorura de aluminiu, care formează complexe stabile cu flavonoidele, cuantificabile spectrofotometric. Această metodă este frecvent utilizată în analiza flavonoidelor datorită specificității și sensibilității înalte. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2. CTF în extractele din semințe de cânepă, pretratate cu ultrasunet timp 40 min, metoda cu clorura de aluminiu **[*date proprii*]**

Extractele	**Nr. probei**	**[Flavonoide], mg EQE/g semințe**
Extracte hidroalcoolice	1	24,6
	2	26,3
	3	12,4
	4	26,9
	5	20,9
Extracte apoase	1	82,0
	2	177,9
	3	105,6
	4	103,9
	5	79,1

1 – 1:20 S/L; 2 – 1:15 S/L; 3 – 1:10 S/L; 4 – 1:7,5 S/L, 5 – 1:5 S/L.

Rezultatele obținute indică faptul că conținutul flavonoidelor în extractele etanolice din semințele de cânepă este moderat, variind între 12,84 și 26,9 mg EQ/g semințe de cânepă, dar sunt mai mari decât cele raportate în literatura de specialitate. Această concentrație relativ redusă este justificată prin faptul că semințele conțin flavonoide în cantități mai mici comparativ cu frunzele sau părțile aeriene ale plantei. Deși etanolul favorizează extracția compușilor fenolici mai puțin polari, randamentul global al extracției rămâne scăzut în cazul flavonoidelor din semințe.

În contrast, extractele apoase au prezentat un conținut semnificativ mai ridicat de flavonoide, cu valori cuprinse între 79,1 și 177,9 mg EQ/L. Acest rezultat poate fi atribuit solubilității ridicate a flavonoidelor glicozilate în apă, combinată cu efectul cavitației ultrasunetelor, care facilitează degradarea pereților celulari și eliberarea compușilor activi în mediu lichid.

Pe baza acestor date, s-a stabilit că parametrii optimi pentru obținerea extractelor din semințele de cânepă sunt: raportul solid–lichid (S/L) de 1:15, pretratare cu ultrasunete timp de 40 de min și utilizarea apei distilate ca solvent.

Evaluarea activității antioxidante

Una dintre metodele recunoscute la nivel internațional pentru determinarea activității antioxidante este metoda bazată pe utilizarea cation radicalului ABTS (*2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonic acid)*). Această tehnică permite evaluarea activității antioxidante totale (AAT) a probelor analizate. Folosind troloxul ca standard de referință, s-au determinat concentrațiile echivalente de antioxidanți în extractele obținute din semințele de cânepă (mM ET) și procentul de inhibiție (%) a cation radicalului ABTS. Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabelul 3. Activitatea antioxidantă totală, concentrația antioxidanților recalculată în mM ET și procentul de inhibiție a extractelor din semințe de cânepă [*date proprii*]

Solventul	Nr. probei	C., mM ET	AAT	Inhibiția, %
Alcool etilic (50%)	1	0,48	0,12	12,99
	2	0,85	0,24	25,09
	3	0,81	0,23	23,82
	4	0,73	0,20	21,14
	5	1,36	0,41	41,65
Apă distilată	1	0,62	0,17	17,57
	2	1,92	0,59	68,78
	3	1,58	0,48	57,32
	4	1,89	0,58	67,51
	5	2,94	0,92	101,91

1 – 1:20 S/L; 2 – 1:15 S/L; 3 – 1:10 S/L; 4 – 1:7,5 S/L, 5 – 1:5 S/L.

Rezultatele obținute indică faptul că, odată cu creșterea concentrației extractelor testate, capacitatea de inhibiție a cation-radicalului ABTS crește corespunzător, înregistrând valori cuprinse între 9,55% și 101,91%. Aceste date se aliniază cu valorile raportate în literatura de specialitate, confirmând faptul că extractele din semințe de cânepă prezintă o activitate antioxidantă totală (AAT) remarcabilă. Similar cu tendințele observate pentru conținutul total de polifenoli (CTP) și flavonoide (CTF), activitatea antioxidantă este semnificativ mai ridicată în cazul extractelor apoase comparativ cu cele hidroalcoolice. Astfel, în timp ce extractele obținute cu etanol 50% au prezentat o inhibiție cuprinsă între 12% și 41%, cele cu apă distilată au înregistrat valori mult mai mari, între 9,55% și 101,91%. Această diferență poate fi explicată prin solubilitatea crescută în apă a polifenolilor cu caracter polar, în special a celor glicozilați, care sunt responsabili în mare măsură de activitatea antioxidantă. De asemenea, aplicarea ultrasunetelor sporește eficiența extracției, contribuind la eliberarea compușilor activi din matricea vegetală.

Astfel, extractele apoase din semințe de *Cannabis sativa L.* se dovedesc a fi surse valoroase de compuși bioactivi cu potențial antioxidant și pot fi utilizate eficient în formulări cosmetice cu efecte protectoare și anti-aging.

CONCLUZII

Ca rezultat al studiului, au fost stabilite condițiile optime de extracție a compușilor fenolici din semințele de *Cannabis sativa L.*, și anume: raport solid–lichid (*S/L*) de 1:15, pretratare cu ultrasunete timp de 40 de minute, utilizând apă distilată ca solvent.

Analiza compozițională a extractelor a evidențiat un conținut total de polifenoli, în condițiile optime de extracție, de aproximativ 239 mg EAG/g semințe, dintre care flavonoidele au reprezentat 178 mg EQE/g de semințe, ceea ce subliniază potențialul fitochimic al acestora.

Activitatea antioxidantă a extractelor din semințe de *Cannabis sativa L.* a fost confirmată prin metoda ABTS, valorile capacității antioxidante totale (AAT) fiind exprimate ca echivalent trolox (ET) și s-au încadrat în intervalul 0,086–0,407 mM ET. Totodată, procentul de inhibiție al cation radicalului ABTS a variat între 9,55% și 101,91%, ceea ce demonstrează o capacitate antioxidantă ridicată, în special în cazul extractelor apoase pretratate cu ultrasunete.

Datele obținute demonstrează că extractele apoase din semințele de *Cannabis sativa L.* constituie surse valoroase de compuși bioactivi cu activitate antioxidantă, ceea ce le recomandă pentru utilizare în produse cosmetice cu efecte protectoare, antiinflamatorii și anti-aging.

REFERINȚE:

1. TĂNASE APETROAEI, V., PRICOP, E. M., ISTRATI, D. I., VIZIREANU, C. Hemp Seeds (Cannabis sativa L.) as a Valuable Source of Natural Ingredi-

ents for Functional Foods—A Review. In: Molecules, 29(9), 2024. https://doi.org/10.3390/molecules29092097.
2. KOBUS, Z., PECYNA, A., BUCZAJ, A., KRZYWICKA, M., PRZYWARA, A., NADULSKI, R. Optimization of the Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cannabis sativa L. Leaves and Inflorescences Using Response Surface Methodology. In: *Applied Sciences*, 2022, 12(13), 6747. https://doi.org/10.3390/app12136747.
3. Umar, M., Fikry, M., Phonsatta, N., Panya, A., Alqahtani, N., Jafari, S., Assatarakul, K. Ultrasonic-Assisted extraction of bioactive compounds from hemp seeds: Process optimization, energy efficiency, and antioxidant activity evaluation. In: *Separation and Purification Technology*, 2025, Volume 365. ISSN 1383-5866.
4. KUPINA, S., FIELDS, C., ROMAN, M., BRUNELLE, S. Determination of Total Phenolic Content Using the Folin-C Assay: Single-Laboratory Validation, First Action 2017.13. In: *Journal of AOAC International*, 2019, 1(102), pp. 320-321. https://doi.org/10.1093/jaoac/102.1.320.
5. AMJAD, S., TALAAT, A., MIZANUR, R., YOUSEF, H. Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. In: *LWT - Food Science and Technology*, 111932(150), 2021, pp. 1-11. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932.
6. BOLIGON, A., MACHADO, M., ATHAYDE, M. Technical Evaluation of Antioxidant Activity. In: *Medicinal chemistry*, 2014, 7(4), pp. 517-522. http://dx.doi.org/10.4172/2161-0444.1000188.

N.B. *Lucrarea a fost efectuată în cadrul proiectului 010603 „Identificarea Procedeelor Tehnologice de Tratare, Formare a Calităţii şi Cantităţii Apelor şi Cercetări Avansate în Chimia Computațională și Ecologică”, finanțat de ANCD.*

SINTEZA ȘI STRUCTURA COMPUSULUI COORDINATIV AL Cu(II) CU 2-(SALICILIDENHIDRAZONO)TIAZOLIDIN-4-ONA

SYNTHESIS AND STRUCTURE OF COORDINATION COMPOUND OF Cu(II) WITH 2-(SALICYLIDENHYDRAZONO)-THIAZOLIDIN-4-ONE

CZU: 544.142.3:546.56 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.93**

Maria MÎNĂSCURTĂ
ORCID: 0009-0000-9872-4856
E-mail: 2004.16mariaminascurta@gmail.com
Universitatea Pedagogică de Stat "Ion Creangă" din Chișinău;
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Tudor JOVMIR
ORCID: 0009-0002-3220-3446
E-mail: tjovmir@gmail.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Sergiu ȘOVA
ORCID: 0000-0002-1222-4373
E-mail: shova@icmpp.ro
Institutul de Chimie Macromoleculară ,,Petru Poni", Iași, România

Vasile LOZAN
ORCID: 0000-0002-6951-6115
E-mail: vasilelozan@gmail.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *2-Salicylidenehydrazono-thiazolidin-4-one (H_2L) is a potential chelate ligand with a hybrid structure, consisting of a heterocyclic substructure and another of Schiff base, represented by an aromatic hydrazone. The interaction of H_2L with different copper(II) salts was studied as a function of solvent and temperature. Regardless of the solvent, temperature and nature of the Cu(II) salt, a compound with the composition [Cu·H_2O] is obtained with a good yields, in some cases up to 88 %. At the same time, the anions from the copper salts are not part of the coordination compound in contrast to parent thiosemicarbazone complexes. From the DMSO solution, single crystals of the monohydrate compound were obtained for the X-ray study. The X-ray study (R=4.68%, 6596 reflections) revealed that the Cu(II) ion is square-planar tetracoordinated by the tridentate, double deprotonated organic ligand, and a water molecule. The L^{-2} ligand coordinates via the O-phenolato, N-azomethinic and N-heterocyclic-deprotonated donor atoms, thus the two adjacent 6- and 5-membered chelate ring being formated. Spontaneous double deprotonation on coordination in neutral media of H_2L represents a sharp contrast to the parent thio- and isothiosemicarbazones.*

Keywords*: salicylidenehydrazone, thiazolidinone, copper, X-rays.*

INTRODUCERE

Tiazolidinonele și derivații săi reprezintă o clasă numeroasă și importantă de compuși heterociclici de 5 membri cu multe posibilități de derivatizare și care manifestă un spectru larg de activități biologice relevante pentru medicină și agricultură [1]. Pe de altă parte, se cunosc considerabil mai puțini compuși coordinativi cu liganzi din această clasă, deși este bine cunoscut faptul că coordinarea la ionii de metal poate să influențeze atât pozitiv, cât și negativ activitatea biologică în ansamblu. Scopul acestei lucrări este sinteza și studiul compusului coordinativ al Cu(II) cu o derivată ai tiazolidinonei: 2-(salicilidenhidrazono)tiazolidin-4-ona (H_2L) (Fig. 1).

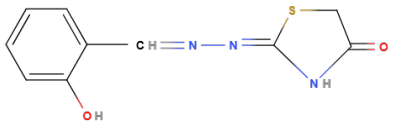


Figura 1. Formula de structură a H_2L

După cum reiese din Fig. 1 structura H_2L este una hibridă, constituită din două substructuri: una tiazolidinică și alta de bază Schiff, reprezentată de o hidrazonă aromatică, iar în ansamblu acest compus ar putea funcționa ca un ligand potențial chelatic bibazic cu proprietăți interesante. Sinteza H_2L a fost descrisă în 1950 reieșind din tiosemicarbazona aldehidei salicilice și acidul monocloracetic [2]. Ulterior s-a depistat că H_2L posedă o pronunțată activitate tuberculostatică, totodată derivații fără gruparea orto-hidroxi sunt considerabil mai puțin activi [3]. În urma analizei literaturei de specialitate rezultă că nu au fost descriși compuși coordinativi pe bază de H_2L.

MATERIALE ȘI METODE

Reactivii și solvenții au fost procurați de la firma Sigma Aldrich și au fost utilizați fără o purificare suplimentară. H_2L a fost sintetizată conform [2]. Spectrul IR, (KBr, cm^{-1}) pentru H_2L: 3043 m. umăr, 2951 m. larg, 2754 m. larg, 1711 f.p. ascuțit ν(C=O), 1637 f.p. ascuțit, 1621 f.p. ascuțit ν(C=N)+ν(C=C), 1567 m. ascuțit, 1332 p. ascuțit, 1315 p. ascuțit, 1251 p. ascuțit, 1202 f.p. ascuțit, 835 p. ascuțit, 754 f.p. ascuțit δ(Ar-H outplane), 734 p. ascuțit, 702 f.p. Notă: f.p. - foarte puternic; p – puternic; m. – mediu; s. – slab. Analiza elementală pentru C, H, N și S a fost efectuată cu analizatorul elemental Vario EL (III). Spectrele FT-IR au fost înregistrate cu spectrometrul Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR în intervalul 4000-650 (pelete KBr) sau 4000-400 cm^{-1} (ulei de vazelină).

Sinteza [CuL·H_2O] La o soluție caldă de H_2L 0,4706 g (2 mmol) în 40 mL DMSO, s-a adăugat treptat la încălzire constantă și agitare o soluție de 0,4993 g (2 mmol) de $CuSO_4$ ⊕$5H_2O$ în 25 mL apă. Suspensia formată de culoare verde intensă fost încălzită pe baie marină până la dizolvarea ei, apoi soluția obținută a fost lasată să se răcească peste noapte. Cristalelele depuse sub formă de prizme cafenii-roșietice au fost separate

prin filtrare, spălate succesiv cu etanol și acetonă. Randamentul: 0,5540g (88 %). La fel, reacția are loc reieșind din $Cu(NO_3)_2 \oplus 3H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ sau $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$. Analiza elementală pentru $C_{10}H_9CuN_3O_3S$ (M=314,82): găsit, %: C-38,84, H- 2,14, N- 13,47, S-10,79; calculat, %: C-38,17, H- 2,88, N- 13,35, S-10,19. Compusul este solubil în DMSO, DMF, piridină, metanol, este puțin solubil în, THF, acid acetic glacial, dioxan; și insolubil în apă, etanol, eter, acetonă. Spectru IR (KBr, cm^{-1}): 3500-2700 m. f. larg, 2500 m. larg, 1612 f.p. ascuțit ν(C=O), 1598 f.p. ascuțit, 1517 f.p. ascuțit ν(C=N)+ν(C=C), 1446 m. ascuțit, 1338 p. ascuțit, 759 δ(Ar-H outplane) p. ascuțit.

Pentru studiul difracției de raze X pe monocristal cristalele potrivite s-au format la temperatura camerei timp de 4-5 zile din soluție diluată de azotat de cupru(III) trihidrat în DMSO, într-un vas de reacție cu posibilitatea de a contacta soluția cu atmosfera.

Măsurătorile de difracție cu raze X au fost efectuate la temperatura camerei utilizând difractometrul Rigaku XtaLAB Synergy, Dualflex, HyPix cu radiație Cu-Kα. Integrarea datelor și determinarea celulei elementare s-a efectuat cu ajutorul pachetului CrysAlis de la Oxford Diffraction [4]. Structura a fost rezolvată prin fazare intrinsecă utilizând softul Olex2 [5] cu programul de rezolvare a structurii SHELXT [6] și rafinată prin metoda matriței complete a celor mai mici pătrate pe F^2 cu SHELXL-2015 [7], cu aplicarea unui model anisotropic pentru atomii non-hidrogen. Toți atomii de hidrogen atașați la carbon au fost introduși în pozițiile idealizate (d_{CH}=0.96 Å) și rafinate cu ajutorul modelului riding. Atomii de hidrogen a grupelor OH au fost localizați prin cartarea diferențelor Fourier și rafinați în acord cu parametrii legăturilor de hidrogen. Programul Olex2 a fost utilizat în calitate de interfață grafică pentru programele SHELXL.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

La interacțiunea sărurilor de cupru(II) (clorură, nitrat, sulfat și acetat) cu H_2L în mediu de DMSO, DMF sau metanol se obține doar un singur compus (prizme cafenii-roșietice) și cu randamente înalte (până la 88%). În baza rezultatelor analizei elementale și spectrelor IR acestui compus i s-a atribuit formula $CuL \cdot H_2O$, din care reiese că anionii din sărurile inițiale de Cu(II) nu intră în componența compusului. Din aceste date rezultă că ligandul în cauză se coordinează în formă bideprotonată, prin intermediul oxigenului fenolic, azotului azometinic și heterociclic. În contrast, este bine cunoscut că la interacțiunea în condiții neutre a ligandului parental – tiosemicarbazona aldehidei salicilice cu clorura de cupru(II), ligandul se coordonează tridentat cu monodeprotonare la oxigenul fenolic, iar un anion de clor intră în componența complexului ca ligand [8]. O situație similară se observă și în cazul S-metil-izotiosemicarbazonei aldehidei salicilice, care având atomul de sulf alchilat și care nu participă la coordinare, este formal cea mai apropiată de H_2L după setul de atomi donor. La utilizarea clorurii sau nitratului de Cu(II), în condiții neutre, are loc monodeprotonarea la fenol, iar anionul de clor se coordinează la ionul central de Cu(II) [9]. În ambele cazuri pentru o deprotonare suplimentară este necesar de utilizat baze organice sau anorganice sau acetat de cupru(II) ca sare inițială. Prin urmare, la coordinare H_2L spontan se deprotonează dublu în condiții neutre, iar a

doua deprotonare probabil are loc la azotul heterociclic după analogie cu atomul N4 din S-metil-izotiosemicarbazonă. Studiul cu raze X (v. mai jos) a confirmat dubla deprotonare a H_2L la atomii donori - oxigenul fenolic și azotul heterociclic.

Analiza spectrelor IR a compusului coordinativ [CuL·H_2O]. Benzile din regiunea mai înaltă nu sunt informative, deoarece coalescează într-un pic foarte larg (3500-2000 cm^{-1}) de intensitate medie, cu un vârf aproximativ la 2950 cm^{-1}, tablou ce se datorează și legăturilor de hidrogen intra- și intermoleculare. Din această cauză este greu de judecat despre absența ν(N-H) după deprotonare, care la tiazolidinonele libere se manifestă în regiunea 3100-3400 cm^{-1} [10]. Spectrul IR în regiunea mai jos de 1700 cm^{-1} reprezintă un tablou destul de complex, format din benzi ascuțite, multe din ele destul de intensive. Se poate de remarcat grupul format din trei benzi ascuțite și foarte intensive la 1612, 1598 și 1517 cm^{-1}. În ligandul necoordinat se observă de asemenea un grup similar din trei benzi ascuțite și foarte intensive la 1711, 1637 și 1621 cm^{-1}. Banda de la 1711 cm^{-1} se poate atribui grupării carbonil, care se manifestă la tiazolidinone sub formă de o bandă intensivă și caracteristică în regiunea 1760-1655 cm^{-1} [10]. Celelalte două benzi pot fi atribuite oscilațiilor de valență a legăturii azometinice și a inelului benzenic. Din datele de mai sus se poate concluziona că la coordinarea L^{2-} aceste benzi de valență se deplasează puternic spre regiunea inferioară datorită chelatării, deprotonării și conjugării în ligand.

Analiza datelor studiului cu raze X a [CuL·H_2O]. Rezultatele studiului sunt reprezentate în figurile 2, 3 și Tabelele 1-4.

Tabel 1. Datele cristalografice și parametrii rafinării structurii pentru [CuL·H_2O]

Formula empirică	$C_{10}H_9CuN_3O_3S$	ρ_{calc} [g/cm^3]	1.893
Masa moleculară	314.80	M [mm^{-1}]	4.627
T [K]	293(2)	Dimens. cristalului [mm]	0.30·0.05·0.03
Grup spațial	$P2_1/n$	Interval 2Θ colect. Datelor [°]	8.228 - 133.152
a [Å]	7.5176(2)	Reflexii colectate	6596
b[Å]	21.4902(3)	Reflexii independente, R_{int}	1943, 0.0397
c [Å]	7.6667(2)	Date/restricții/parametri	1943/0/164
α [°]	90	Calitatea fitării pe F^2	1.069
β [°]	116.899(3)	R_1, wR_2 [I>=2σ (I)]	0.0458, 0.1245
γ [°]	90	R_1, wR_2 [toate datele]	0.0468, 0.1259
V [$Å^3$]	1104.57(5)	Difer. maximă pic/gol [e/$Å^{-3}$]	0.69 /-0.90
Z	4		

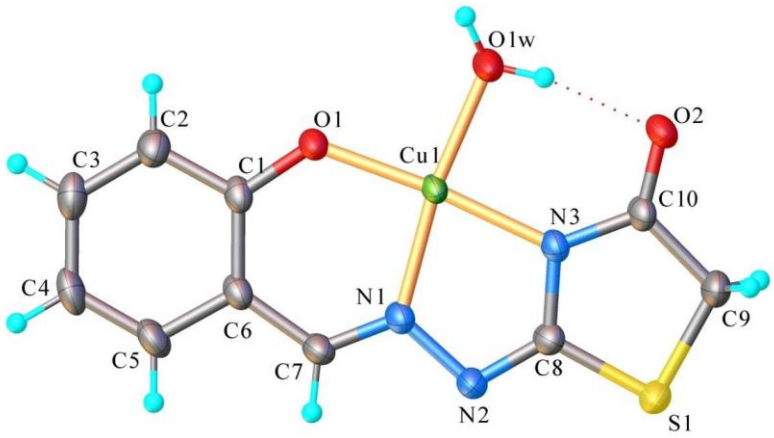


Figura 2. Structura moleculară a compusului coordinativ [CuL·H_2O] (elipsoizii termici sunt reprezentanți de o probabilitate de 40%).

Tabel 2. Lungimile legăturilor chimice (Å)

Cu1-O1*w*	1.958(2)	O2-C10	1.232(3)	C1-C6	1.413(4)
Cu1-O1	1.882(2)	N1-N2	1.411(3)	C2-C3	1.385(4)
Cu1-N1	1.941(2)	N1-C7	1.287(3)	C3-C4	1.377(5)
Cu1-N3	1.942(2)	N2-C8	1.299(4)	C4-C5	1.377(4)
S1-C8	1.754(3)	N3-C8	1.353(4)	C5-C6	1.410(4)
S1-C9	1.804(3)	N3-C10	1.351(3)	C6-C7	1.440(4)
O1-C1	1.329(3)	C1-C2	1.409(4)	C9-C10	1.527(4)

Tabel 3. Valorile unghiurilor de valență (˚)

O1-Cu1-O1*w*	93.82(9)	C8-N2-N1	108.1(2)	C1-C6-C7	124.3(2)
O1-Cu1-N1	94.34(9)	C8-N3-Cu1	110.69(17)	C5-C6-C1	119.3(3)
O1-Cu1-N3	174.64(8)	C10-N3-Cu1	134.40(18)	C5-C6-C7	116.4(2)
N1-Cu1-O1*w*	171.59(9)	C10-N3-C8	114.7(2)	N1-C7-C6	124.0(3)
N1-Cu1-N3	80.38(9)	O1-C1-C2	118.4(2)	N2-C8-S1	121.4(2)
N3-Cu1-O1*w*	91.42(9)	O1-C1-C6	124.0(2)	N2-C8-N3	124.1(2)
C8-S1-C9	90.85(12)	C2-C1-C6	117.6(2)	N3-C8-S1	114.5(2)
C1-O1-Cu1	126.84(17)	C3-C2-C1	121.3(3)	C10-C9-S1	106.30(19)
N2-N1-Cu1	116.69(16)	C4-C3-C2	121.2(3)	O2-C10-N3	124.6(2)
C7-N1-Cu1	126.42(19)	C3-C4-C5	118.7(3)	O2-C10-C9	121.8(2)
C7-N1-N2	116.8(2)	C4-C5-C6	121.9(3)	N3-C10-C9	113.6(2)

Tabel 4. Parametrii legăturilor de hidrogen

D-H···A	d(D-H) [Å]	d(H-A) [Å]	d(D-A) [Å]	D-H-A [°]	-
O1*w*-H1a···O2	0.85	1.88	2.714(3)	166.1	-
O1*w*-H1b···O1[1]	0.85	1.85	2.670(3)	160.6	[1] 1-*x*,1-*y*,2-*z*
C3-H3···O1[2]	0.93	2.49	3.376(3)	159.9	[2] 1/2-*x*,-1/2+*y*,3/2-*z*

Ionul central de Cu^{II} este tetracoordinat plan-patratic de atomul de oxigen al moleculei de apă și setul de atomi O1(fenolat)-N1-N3(deprotonat) al ligandului H_2L dublu deprotonat, cu formare a două cicluri chelatice adiacente de 6 și 5 membri, similare cu cele pentru tio- și izotiosemicarbazona aldehidei salicilice. Pentru izotiosemicarbazone este cunoscut că în urma N-deprotonării crește gradul de conjugare în ciclul de 5 membri, fapt ce se reflectă în egalizarea legăturilor C-N, corespunzătoare legăturilor N2-C8 și C8-N3 (v. Tabelul 1 din [11]). În cazul L^{2-} , deși are loc o delocalizare, apropierea lungimilor respective se manifestă într-un grad mai mic (1.299(4) vs. 1.353(4) Å), probabil din cauza că legătura C8-N3 face deja parte dintr-un sistem mai rigid de heterociclu. În cristal moleculele [CuL·H_2O], prin intermediul legăturilor de hidrogen de tip O-H···O, sunt unite cu formarea unor unități dimerice, care la rândul său sunt interconectate prin legături intermoleculare C-H(arom.)···O (Tabel 4), cu formarea unei structuri supramoleculare de tip 1D (Fig. 3).

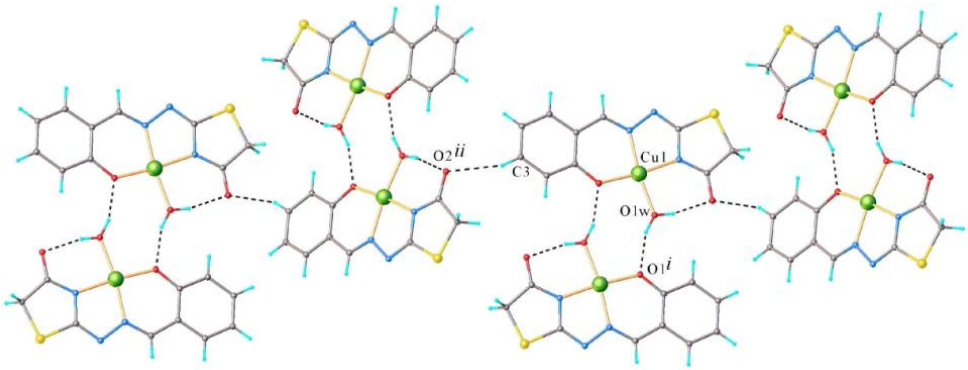


Figura 3. Sistemul de legături de hidrogen intra- și intermoleculare în [CuL·H_2O].

În cristal nu au fost depistate alte interacțiuni intermoleculare ca stacking π-π etc, sau interacțiuni suplimentare Cu-ligand, cum s-a observat în cazul unor salicilidenizotiosemicarbazone bideprotonate (v. referințele din [11]). Datele cu raze X au reconfirmat că anionii din sărurile de Cu^{II} nu fac parte din compoziția compusului complex sintetizat. În așa fel, H_2L se comportă față de ionul de Cu(II) ca un ligand tridentat, bibasic, care

spontan se deprotonează complet la coordinare în medii neutre, adică fără a utiliza baze organice/anorganice sau acetat de cupru. Deprotonizarerea grupării N-H în tiazolidinone la coordinare cu Cu(II), a fost descrisă recent pentru sistemul chelatic monobasic adiacent de 5-5 membri care încorporează o substructură de 2-carboxamidopyridină [12]. Deprotonările spontane duble la coordinare pot fi cauzate simultan de mai multe cauze, printre care: efectul polichelat, includerea atomului de azot N3 în heterociclu și cu o grupare carbonil în vecinătate, structura aplatizată a ligandului ce favorizează conjugarea, ultimele două fiind amplificate după deprotonare la atomii donor.

CONCLUZII

Din rezultatele obținute rezultă că 2-(salicilidenhidrazon)tiazolidin-4-ona se comportă la coordonare cu ionul de Cu(II) ca un ligand tridentat bibasic, care utilizează în calitate de atomi donor oxigenul fenolat, azotul azometinic și azotul tiazolidinic deprotonat. Totodată dubla deprotonare se petrece spontan în condiții neutre, independent de temperatură, solvenți sau sărurile inițiale de Cu(II) utilizate pentru sinteză, cu formarea unui compus neutru. Ca urmare, anionii din sărurile inițiale de cupru nu intră în sfera de coordonare internă sau externă a complecților formați, spre deosebire de interacțiunea cu liganzii parentali sau cu cei apropiați structural, respectiv tio- și izotiosemicarbazonele aldehidei salicilice.

REFERINȚE:

1. SINGH, S., PARMAR, S. S., RAMAN, K., STEINBERG, V. Chemistry and biological activity of thiazolidinones. În: Chemical Reviews. 1981. Vol. 81, nr. 2, p. 175-203.
2. CHABRIER, P., CATTELAIN, E. Contribution a l'etude des composes organiques soufres. 3. Thiosemicarbazones, hydrazothiazolinones et alcoyl-imino-1 diaza-2,3 thia-6 cyclohexanones-4. În: Bulletin Soc. Chim. France. 1950. Vol. 14, p. 48-61.
3. TANIYAMA, A., TANAKA, Y., UCHIDA, H. Studies on chemotherapeutics for Mycobacterium tuberculosis. IX. Synthesis and antibacterian activity of 2-o-hydroxybenzylidenehydrazono-4-thiazolidone and its related compounds. (În l. japoneză) În: J. Pharm. Soc., JAPAN. 1956. Vol. 76, nr. 2, p. 147-149.
4. CrysAlisPro Software System, Version 1.171.38.46, 2015; Oxford Diffraction Ltd., Rigaku Corporation, Oxford, UK, 2015. Disponibil: http://www.oxford-diffraction.com [Accesat: 16.01.2025].
5. DOLOMANOV, O. V.; BOURHIS, L. J.; GILDEA, R. J.; HOWARD, J. A. K.; PUSCHMANN, H. OLEX2 : A complete structure solution, refinement and analysis program. În: Journal of Applied Crystallography. 2009, 42 (2), pp. 339–341. Disponibil: https://doi.org/10.1107/S0021889808042726 [Accesat: 16.01.2025].

6. SHELDRICK, G. M. SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination. În: Acta Crystallographica Section A. 2015, 71 (1), pp. 3–8. Disponibil: https://doi.org/10.1107/S2053273314026370 [Accesat: 16.01.2025].
7. SHELDRICK, G. M. Crystal structure refinement with SHELXL. În: Acta Crystallographica Section C 2015, 71 (1), pp. 3–8. Disponibil: https://doi.org/10.1107/S2053229614024218 [Accesat: 16.01.2025].
8. АБЛОВ, А.В., ГЭРБЭЛЭУ, Н.В. Производные тиосемикарбазона салицилового альдегида с никелем, медью и цинком. În: Ж. Неорг. Химии. 1965. Том 10, вып. 5, с. 1155-1159.
9. ARION, V.B. Coordination chemistry of S-substituted isothiosemicarbazides and isothiosemicarbazones. În: Coord. Chem. Reviews. 2019. Vol. 387, p. 348-397.
10. BROWN, F.C. 4-Thiazolidinones. În: Chemical Reviews. 1961, vol. 61, p. 463-521.
11. БОУРОШ, П.Н., ЖОВМИР, Ф.К., СИМОНОВ, Ю.А., ДВОРКИН, А.А., ГЭРБЭЛЭУ, Н.В. Кристаллическая и молекулярная структура S-метил-N^1-(3-карбоксисалицилиден)-O,N^1,N^4(2-)-(аммин)меди(II). În: Координационная Химия. 1993, том 19, № 11, с. 864-867.
12. ALZUET, G., CASTINEIRAS, A., CORES, I., et al. Structural basis and effect of copper(II) complexes with 4-oxo-thiazolidine ligands on DNA binding and nuclease activity. În: Journal of Inorganic Biochemistry. 2020. Volume 203, February 2020, 110902 doi:10.1016/j.jinorgbio.2019.110902.

N.B. *Lucrarea a fost realizată în cadrul subprogramei de cercetare „Sinteza şi studiul materialelor noi în baza combinațiilor complexe cu liganzi polifuncționali și cu proprietăți utile în medicină, biologie și tehnică (SSMCCLP)”, (cod: 010602).*

OXIDAREA ȘI MINERALIZAREA CATECOLULUI DIN SOLUȚII APOASE UTILIZÂND PROCESE OMOGENE

OXIDATION AND MINERALIZATION OF CATECHOL FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING HOMOGENEOUS PROCESSES

CZU: 542.943:547.98 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.94**

Larisa MOCANU
ORCID: 0000-0003-3306-5292
E-mail: larisa.mocanu@usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maria GONȚA
ORCID: 0000-0003-3476-0967
E-mail: mvgonta@yahoo.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Catechol is widely used in industrial applications such as photographic developers, lubricants, polymerization inhibitors, and pharmaceuticals. Due to its toxicity and persistence, its removal from wastewater is essential. This study investigated the degradation and mineralization of catechol using homogeneous advanced oxidation processes—specifically, Fenton and Photo-Fenton. Key operational parameters, including pH, reagent concentrations, UV type, and molar ratios, were systematically optimized. Optimal performance was observed at pH 2.6-3.2, with 0.1 mM H_2O_2 and Fe^{2+}, and a molar ratio of H_2O_2 : Fe^{2+} : catechol of 10 : 1 : 2. UV-C radiation significantly enhanced the Photo-Fenton process by promoting Fe^{2+} regeneration. Kinetic analysis showed pseudo-first-order behavior, with the highest rate constant (0.00347 min^{-1}) and a degradation rate of $9.23 \cdot 10^{-8}$ mol/L·s. The proposed degradation mechanism involves hydroxyl radical attack, ring cleavage, and mineralization to CO_2 and H_2O. Among the systems tested, the UV-C assisted Photo-Fenton process achieved the highest catechol removal and COD reduction. These results highlight the potential of homogeneous AOPs for efficient treatment of phenolic pollutants in industrial wastewater.*

Cuvinte-cheie: *catecol, cinetică, mineralizare, procese Fenton și Foto-Fenton.*

INTRODUCERE

Catecolul, cunoscut și sub denumirile de pirocatecol sau o-hidroxifenol, este utilizat în numeroase aplicații industriale, inclusiv ca revelator fotografic, aditiv în uleiuri lubrifiante, inhibitor de polimerizare și ingredient în produse farmaceutice [1]. În consecință, efluenții proveniți din aceste industrii conțin frecvent catecol. La nivel global, catecolul este unul dintre cei mai abundenți compuși fenolici identificați în apele uzate provenite de la morile de măsline [2]. Eliminarea catecolului din apele

reziduale este esențială, deoarece structura sa aromatică (vezi Tabelul 1) determină atât persistența în mediu, cât și toxicitatea ridicată [3]. Agenția Internațională pentru Cercetarea Cancerului (IARC) a clasificat catecolul drept posibil cancerigen pentru om, în Grupul 2B [4]. De asemenea, Directiva 67/548/CEE, modificată prin Directiva 2006/121/CE, include catecolul în lista substanțelor periculoase [5]. Catecolul este absorbit rapid din tractul gastrointestinal și poate cauza efecte toxice semnificative precum hemoliza, degenerarea tubilor renali, afectarea funcției hepatice și acumularea în măduva osoasă [6]. Studiile toxicologice au arătat că este mai toxic decât fenolul, afectând funcția eritrocitară la concentrații de până la 50 g/L, comparativ cu 250 g/L în cazul fenolului [6]. Cu toate acestea, în prezent nu există o valoare limită reglementată pentru catecol în apele uzate conform legislației Uniunii Europene [7], spre deosebire de fenol, pentru care limita este stabilită la 1 mg/L [8].

Au fost investigate diverse metode pentru îndepărtarea catecolului din ape uzate, inclusiv tratamente biologice, floculare micelară adsorbtivă, ultrafiltrare, adsorbție, radiații ionizante, ozon și procese combinate ozon-fascicul de electroni [9]. Cu excepția celor din ultima categorie, care sunt încadrate în procesele de oxidare avansată (AOPs), majoritatea tehnologiilor menționate doar transferă poluantul din faza lichidă în cea solidă fără a-l mineraliza complet [10]. Astfel, ca rezultat al studiului literaturii de specialitate, se propune îndepărtarea catecolului din apele reziduale prin aplicarea proceselor Fenton, Fenton/UV.

Cercetările experimentale au ca scop de a investiga, prin comparație, efectul proceselor Fenton, foto-Fenton asupra degradării catecolului în soluții apoase. Degradarea catalitică a substratului a fost investigată în intervalul de timp 0-240 min în funcție de valoarea pH-ului (2,6-9,13), concentrația ionilor Fe^{2+} (0,01-0,5 mM), concentrația peroxidului de hidrogen (0,5-5 mM) și tipul de radiații UV.

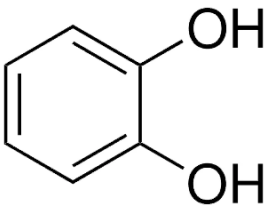
MATERIALE ȘI METODE

Cercetările au fost efectuate în cadrul Laboratorului de Cercetări Științifice al Departamentului Chimie industrială și ecologică „*Academician Gheorghe DUCA*”, Facultatea de Chimie și Tehnologie Chimică, Universitatea de Stat din Moldova.

Reactivi și substanțe chimice

Compușii utilizați în cadrul experimentelor au fost de puritate analitică au fost achiziționați de la Sigma-Aldrich. Catecolul ($C_6H_6O_2$) (Tab.1), peroxidul de hidrogen (30% v/v) și sulfatul de amoniu fier(II) hexahidrat ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)) au fost utilizați ca reactivi principali în procesele catalitice.

Tabelul 1. Caracteristicile fizico-chimice ale catecolului



Structura chimică

λ_{max} = 275 nm

Solubil în apa 100 mg/mL

pH = 4,5

Formula moleculară M: $C_6H_6O_2$

Mr: 110,11 g/mol

Experimentele s-au efectuat în reactoare tip deschis din sticlă borosilicată, cu un volum de lucru de 0,25 L, la temperatura camerei (22 ± 2°C). Pentru procesul Fenton, s-au adăugat în ordine: soluția de lucru cu concentrația prestabilită de catecol, soluție de ioni Fe^{2+} în concentrație prestabilită și s-a reajustat pH-ul cu ajutorul pH-metrului Consort C3030, folosindu-se soluție de H_2SO_4 (1 N). Agitarea a fost prelungită pentru încă 60 s cu ajutorul agitatorului magnetic MSH-20D și s-a adăugat oxidantul H_2O_2 în concentrație prestabilită. S-a fixat timpul de reacție zero. În cazul procesului Fenton/UV, reactorul a fost dotat cu o sursă de radiație UV de joasă presiune (15 W), poziționată orizontal deasupra reactorului. După fixarea timpului de reacție zero, la intervale fixe de timp s-a prelevat câte 5 mL de probă și s-a determinat concentrația remanentă a poluanților și consumul chimic de oxygen remanent.

Metode de analiză

Determinările spectrofotometrice au fost efectuate cu ajutorul spectrofotometrului UV/Vis T80+ dotat cu soft de înregistrare a spectrelor și de prelucrare a datelor.

Concentrația remanentă a substratului (C_t) a fost determinată din curba de etalonare $A_{275nm} = f(C)$, conform ecuației dreptei: $y = 0,0217x + 0,048$, unde coeficientul de regresie este $r^2 = 0,9995$. În conformitate cu legea Lambert-Beer, concentrațiile se înscriu pe o dreaptă în intervalul de concentrație de la 2 până la 60 mg/L. Pentru determinarea constantei de viteză s-a folosit metoda izolării, prin variația succesivă a concentrațiilor inițiale a unui reactant și menținerea constantă a concentrațiilor celorlalți reactanți, conform ecuației $Log(W) = log(k) + nLog([C_0])$. Din regresia lineară $Log(W) = f(Log[C_0])$ se calculează k și n.

Concentrația remanentă a poluanților organici (CCO_t) a fost determinată din curba de etalonare $A_{600nm} = f(CCO)$, conform ecuației dreptei: $y = 0,0016\ x + 0,003$, unde coeficientul de regresie este $r^2 = 0,9998$.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Degradarea catecolului din soluțiile apoase prin aplicarea proceselor de oxidare avansată (AOPs) a fost estimată prin studierea cineticii procesului catalitic și fotocatali-

tic (vitezele de reacție ($\Delta c/\Delta t$, $molL^{-1}s^{-1}$), determinarea constantelor de viteză (k, min^{-1}), timpul de înjumătățire ($t_{1/2}$) și a mecanismelor de oxidare în funcție de diferiți parametri fizico-chimici.

În vederea stabilirii valorii optime de pH au fost testate valori ale pH-ului în intervalul de la 2,6 până la 9,13, menținându-se constante concentrațiile reactanților și a substratului. Alegerea acestui interval a fost realizată în conformitate cu valorile pKa a catecolului. În baza datelor experimentale obținute la oxidarea catecolului (C_0 = 50 mg/L) cu reactivul Fenton (Tab. 2), la diferite valori ale pH-ului, s-a considerat că reacția a fost de ordinul pseudo-întâi, iar pentru fiecare valoare a pH-ului au fost calculate constanta de viteză aparentă k (min^{-1}), coeficientul de corelație R^2 și timpul de înjumătățire $t_{1/2}$ (min).

Astfel, în baza datelor cinetice, se poate constata că la pH acid (2,6), mediul este propice pentru reacții oxidative, în special în prezența radicalilor OH generați de procesele Fenton sau Foto-Fenton, însă la pH 3,2 s-a obținut cea mai mare constantă de viteză și cel mai bun coeficient de corelație R^2, ceea ce indică o degradare eficientă și o bună conformitate cu modelul cinetic. La pH 9,13, concentrația catecolului crește în timp, semn că reacția nu are loc eficient sau că are loc un proces secundar (ex. desorbție, interferențe analitice). Timpul optim de reacție se încadrează în jurul valorii de 240 min, unde se observă conversia cea mai mare a catecolului, dar se poate optimiza și în funcție de randament/eficiență energetică.

Tabelul 2. Rezultatele cinetice obținute la oxidarea Fenton a catecolului

pH	k (min^{-1})	R^2	$t_{1/2}$ (min)
3,20	0,0045	0,9235	154,97
2,60	0,0044	0,8289	157,26
8,55	0,0037	0,8332	188,85
4,50	0,0026	0,8375	262,39
9,13	-0,0010 (negativ)	0,9134	nerelevant (creștere de concentrație)

Influența concentrației ionilor Fe^{2+} asupra procesului de oxidare avansată a catecolului prin metoda Fenton și Fenton asistată de raze UV este esențială pentru eficiența reacției, deoarece ionii Fe^{2+} sunt catalizatorul principal în generarea radicalilor OH, care sunt specii oxidante responsabile de degradarea catecolului.

Datele din tabelul 3, evidențiază influența concentrației ionilor Fe^{2+} asupra eficienței procesului de degradare a catecolului (concentrația inițială: 50 mg/L), evaluată în diferite momente de timp (0-90 min).

La concentrația ionilor Fe^{2+} de 0,01 mM, concentrația poluantului a rămas practic constantă pe parcursul celor 90 min de reacție, scăzând nesemnificativ de la 50 mg/L → 47,1 mg/L. Această degradare redusă, de aproximativ 5,8%, sugerează că doza de reactiv utilizată a fost insuficientă pentru inițierea eficientă a procesului oxidativ, nefiind

generată o cantitate suficientă de specii reactive pentru a susține degradarea poluantului. La concentrația de 0.05 mM, s-a observat o scădere mai vizibilă a concentrației poluantului, care a ajuns la 39.7 mg/L după 90 min de reacție. În mod interesant, reacția pare să se accelereze după minutul 45, ceea ce ar putea fi asociat cu o acumulare progresivă a speciilor reactive în soluție. Degradarea totală înregistrată a fost de aproximativ 20,6%, semnalând o îmbunătățire față de concentrația anterioară, dar indicând totodată că procesul nu a atins un nivel optim de eficiență.

Tabelul 3. Concentrația remanentă a catecolului după 90 min de reacție;
$[H_2O_2]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ M, pH = 2,6, $[catecol]_0$ = 50 mg/L

$[Fe^{2+}]_0$, mM	Fenton	Fenton/UV-C	Fenton/UV-A	Observații principale
0,01	47,1	47,1	43,9	Degradare minimă în toate cazurile
0,05	39,7	39,3	20,8	UV-A are eficiență remarcabilă
0,1	31,4	28,2	25,4	Fenton/UV-V superior
0,5	44	44	27,3	UV-A eficient, Fenton și Fento/UV-C inhibat, cu comportament similar, posibil exces de reactiv

În cazul sistemului apos, unde concentrația ionilor Fe^{2+} era de 0,1 mM, s-a înregistrat o scădere semnificativă a concentrației poluantului, de la 50 mg/L → 31,4 mg/L după 90 min. Această reducere de circa 37,2% reflectă o eficiență mai ridicată a sistemului Fenton, sugerând că doza de reactiv a fost adecvată pentru generarea unei cantități suficiente de radicali OH care să asigure degradarea substanței țintă. Pentru concentrația de 0,5 mM, rezultatele nu au urmat tendința așteptată. După o scădere inițială rapidă a concentrației poluantului până la 42,5 mg/L în primele 10 min, valorile s-au stabilizat, iar în ultimele minute chiar au crescut ușor, ajungând la 44 mg/L. Acest comportament atipic poate fi explicat prin mai mulți factori: posibilă saturare a sistemului cu reactiv, care ar fi condus la un consum ineficient al radicalilor generați (fenomen cunoscut sub denumirea de „*scavenging*"), apariția unor reacții secundare ce reduc concentrația radicalilor activi, cum ar fi auto-descompunerea peroxidului de hidrogen sau chiar interferențe analitice ori fenomenul de redisoluție a poluantului din faza adsorbită.

Pentru reacțiile foto-Fenton, la concentrația de 0,01 mM, comportamentul sistemului Fenton asistat cu radiație UV a fost similar cu cel observat în absența radiației UV. Concentrația poluantului a scăzut nesemnificativ, de la 50 mg/L → 47,1 mg/L → 43,9 mg/L (Tab. 3), ceea ce corespunde unei degradări de aproximativ 7%. Acest rezultat indică faptul că, în lipsa unei cantități suficiente de reactiv, iradierea UV nu este suficientă pentru a susține eficient procesul de oxidare avansată. La concentrația de 0,05

mM, degradarea poluantului a fost puțin mai accentuată decât în cazul procesului Fenton simplu, concentrația finală fiind de 39,3 mg/L (UV-C) și respectiv, de 20,8 mg/L (UV-A). Această eficiență crescută se datorează sinergiei dintre generarea radicalilor OH prin reacția clasică Fenton și fotoliza suplimentară a peroxidului de hidrogen sub acțiunea radiației UV, ceea ce optimizează mecanismul oxidativ. Deși valoarea este ușor mai mică decât în celelalte două sisteme la aceeași concentrație a ionilor Fe^{2+}, eficiența generală rămâne scăzută, confirmând că energia UV în sine nu este suficientă pentru declanșarea eficientă a procesului la concentrații reduse de reactiv. Acest lucru sugerează că radiația UV contribuie la regenerarea ionilor Fe^{2+} din Fe^{3+} (*Ec.2*) și la accelerarea ciclului Fenton, dar diferența de eficiență este modestă în acest interval de concentrație.

Concentrația optimă de peroxid de hidrogen a fost identificată a fi optimă în intervalul 1-2 mM, evitându-se astfel efectele de „*scavenging*" cauzate de excesul de oxidant. De asemenea, s-a constatat că utilizarea ionilor Fe^{2+} în concentrații moderate (0,1 mM) conduce la o eficiență maximă a reacției, prin favorizarea ciclului catalitic Fenton. Radiațiile UV, în special UV-C, au intensificat semnificativ procesul de oxidare în cazul sistemului Foto-Fenton, comparativ cu radiația UV-A și cu procesele fără asistență fotonică.

În baza rezultatelor experimentale, s-a observat că eficiența maximă de oxidare/mineralizare a catecolului prin aplicarea procesului Fenton/UV-C a fost atinsă la concentrația ionilor Fe^{2+} de 0,05 mM. În aceste condiții, concentrația poluantului a scăzut de la 50 mg/L → 20,8 mg/L după 90 min de reacție. La concentrații mai mici (0,01 mM), procesul nu a fost eficient, din cauza că are loc generare lentă a radicalilor OH, iar la concentrații mai mari (0,1-0,5 mM), s-au observat efecte de saturație și inhibiție, probabil cauzate de excesul de reactiv și reacțiile secundare de tip „*scavenging"* ale radicalilor hidroxil (*Ec.1*). Aceasta confirmă necesitatea optimizării dozei de reactiv prin stabilirea concetrației optime de oxidant, pentru a maximiza generarea radicalilor și a evita consumul inutil de oxidant.

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + \cdot OH \quad (1)$$

$$Fe^{3+} + H_2O + hv \rightarrow Fe^{2+} + \cdot OH + H^+ \quad (2)$$

Astfel, sistemul model ce conține 50 mg/L catecol se poate oxida eficient prin aplicarea procesul Fenton asistat cu radiație UV la 254 nm, la valoarea pH-ului de 2,6, concentrația ionilor Fe^{2+} de 0,1 mM și concentrația H_2O_2 de 0,5 mM. Ca rezultat, s-a obținut următorii parametri cinetic: viteza inițială a reacției 9,23 · 10^{-8} mol/L·s, constanta de viteză (k**)**: 0,00347 min^{-1}, iar timpul de înjumătățire **(**$t_{1/2}$): 199,52 min. În aceste condiții, concentrația catecolului s-a redus cu 73%, iar valoarea CCO –cu 74%.

După stabilirea legităților cinetice de oxidare a catecolului, se propune un posibil mecanism de transformare în mai multe etape (Fig. 1).

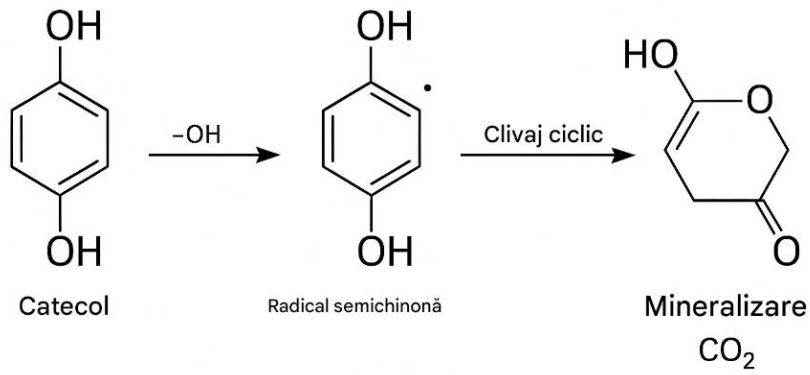


Figura 1. Posibil mecanism de transformare a catecolului prin reacții catalitice

Se cunoaște că în mediul puternic acid (pH 2,6), catecolul este susceptibil la oxidare eficientă prin radicali OH, care inițiază transformarea sa în compuși quinonici și apoi în produse de degradare complet mineralizate. Mediul acid susține formarea radicalilor OH și menține ionii Fe^{2+} în starea catalitică activă, ceea ce face ca procesul oxidativ să fie rapid și eficient. La pH acid (2,6), mediul este propice pentru reacții oxidative, în special în prezența radicalilor OH generați de procesele Fenton sau Foto-Fenton. Ionii Fe^{3+} formați pot fi reduși la ioni Fe^{2+} sub influența radiației UV (*Ec. 2*), iar radicalul OH atacă nucleul aromatic al catecolului prin mecanism de adăugare electrofilă sau abstractie de H. Cele mai probabile reacții sunt fie hidroxilarea suplimentară a inelului benzilic, formând intermediari trihidroxilați ori scindarea inelului aromatic, urmată de formarea de acizi carboxilici cu lanț scurt (ex. acid maleic, oxalic). Intermediarii formați sunt supuși, în continuare, atacului radicalilor liberi, rezultând în final CO_2 și H_2O, ceea ce semnalează mineralizarea completă.

CONCLUZII

Rezultatele cercetărilor experimentale realizate privind oxidarea avansată a catecolului în soluții apoase, relevă utilizarea metodei Fenton asistate de UV ca tehnică avansată de epurare a apelor uzate ce conțin fenoli, demonstrând o sinergie eficientă între parametrii operaționali și performanțele obținute. În ansamblu, procesul Foto-Fenton s-a dovedit a fi cel mai eficient dintre metodele testate, asigurând degradarea catalitică avansată a catecolului în condiții controlate, cu potențial ridicat de mineralizare. Rezultatele obținute pot fi valorificate în dezvoltarea unor metode de epurare omogenă a apelor reziduale contaminate cu compuși fenolici, în special în sistemele model care simulează poluanții emergenți din apele industriale.

REFERINȚE:

1. ZHOU, Y., ZHANG, L., & MA, J. Industrial uses and environmental fate of catechol and its derivatives: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020, 83*, pp.1–11.
1. MARTÍNEZ-PIERNAS, A. B., ÁLVAREZ-GAITÁN, P., & LEIVA-CANDIA, D. Phenolic compounds in olive mill wastewater: Distribution, toxicity, and valorization options. *Journal of Environmental Management,* 2019*, 243*, pp. 274–286.
2. KLAVARIOTI, M., MANTZAVINOS, D., & KASSINOS, D. Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environment International,* 2009*, 35*(2), pp. 402–417.
3. IARC. *Catechol*. In *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* (Vol. 71). International Agency for Research on Cancer, 1999.
4. Comisia Europeană. *Directiva 2006/121/CE de modificare a Directivei 67/548/CEE privind clasificarea, ambalarea și etichetarea substanțelor periculoase*. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, 2006.
5. WANG, Z., SUN, J., & PAN, Y. Toxicity and biotransformation of catechol in aquatic organisms: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology,* 2018, *59*, pp. 48–55.
6. LEE, Y., & LEE, H. Comparative toxicological effects of phenol and catechol on human red blood cells. *Toxicology Letters,* 2017*, 280*, pp. 76–82.
7. Comisia Europeană. *Directiva 91/271/CEE privind epurarea apelor uzate urbane*. Jurnalul Oficial al Comunităților Europene, 1991.
8. LOFRANO, G., MERIÇ, S., ZENGIN, G. E., & ORHON, D. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Science of the Total Environment,* 2010, *409*(1), pp. 78–93.
9. GOGATE, P. R., & PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 2004*, 8*(3–4), pp. 501–551.

N.B. *Lucrarea a fost elaborată în cadrul proiectului Identificarea Procedeelor Tehnologice de Tratare, Formare a Calității și Cantității Apelor și Cercetări Avansate în Chimia Computațională și Ecologică cu cifrul 010603.*

SYNTHESIS AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF 3-{-[(2 HYDROXYPHENYL)METHYLIDENE]AMINO}-5-(2-METHYLPROPYL)-2-SULFANILYDENEIMIDAZOLIDIN-4-ONE

SINTEZA ȘI INVESTIGAȚIA STRUCTURALĂ A 3-{-[(2-HIDROXIFENIL)METILIDEN]AMINO}-5-(2-METILPROPIL)-2-SULFANILIDENIMIDAZOLIDIN-4-ONEI

CZU: 542.9:543.645.7 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.95**

Aliona PÎNTEA
ORCID: 0009-0008-1713-9195
E-mail: pintea.aliona@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Roman RUSNAC
ORCID: 0000-0002-5713-5251
e-mail: roman.rusnac@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sergiu SHOVA
ORCID: 0000-0002-1222-4373
E-mail: shova@icmpp.ro
Romanian Academy, Iași, Romania

Aurelian GULEA
ORCID: 0000-0003-2010-7959
E-mail: aurelian.gulea@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Cancerul este a doua cea mai frecventă cauză de deces. Niciun medicament cunoscut nu satisface 100% nevoile industriei medicale. Din aceste motive, mulți cercetători încearcă să sintetizeze noi molecule cu proprietăți anticancerigene. O clasă de compuși organici numiți tiosemicarbazone prezintă un spectru larg de activități biologice utile, inclusiv anticancerigene și antimicrobiene. Acest articol prezintă metodele de sinteză și analiză fizico-chimică a compusului 3-{(E)-[(2-hidroxifenil)metiliden]amino}-5-(2-metilpropil)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-onă. Ligandul a fost sintetizat în două etape folosind metode clasice, care au fost ulterior optimizate. În prima etapă, pornind de la 2-amino-4-metilpentanoat de metil-clorură de hidrogen, s-a obținut 3-amino-5-(2-metilpropil)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-onă. Compușii sintetizați au fost caracterizați folosind tehnici moderne, cum ar fi spectroscopia FTIR, analiza elementară și difracția de raze X pe monocristal. Evaluarea activității biologice a compusului este în curs de desfășurare.*

Cuvinte-cheie*: sulfanil idena, imidazolidin-4-onă, tiohidantoină, baze Schiff.*

INTRODUCTION

Hydantoins are chemical compounds containing a hydantoin nucleus, an imidazole derivative, with the general formula $C_3H_4N_2O_2$.They have been studied mainly for their pharmacological activity and applicability in medicine, especially in the treatment of epilepsy. Here are some general characteristics of hydantoins. Hydantoins have a structure based on a heterocyclic system containing nitrogen (N), carbon (C) and oxygen (O). The hydantoin nucleus is made up of a 5-membered ring, in which 2 of the carbon atoms are replaced by nitrogen, and 1 oxygen atom completes the structure. Hydantoins are famous in medicine for their use as anticonvulsants [1]. For example, *Phenytoin* is used for the treatment of epilepsy, having stabilizing effects on the electrical activity of the brain. These compounds regulate neuronal activity by inhibiting sodium channels. Hydantoins are most commonly used as antiepileptic drugs. Some hydantoin derivatives can also be used to treat conditions related to anxiety or insomnia, and more recently they also have cardiological effects, being used for treatments against arrhythmia. Although their effectiveness is proven, the use of hydantoins can be accompanied by side effects, such as [3]: dizziness, gastrointestinal problems, skin rashes, and chronic toxicity in case of prolonged use.

Thiosemicarbazides are a class of chemical compounds containing the thiosemicarbazide functional group (-NH-NH-C=S), being derivatives of semicarbazides by replacing the oxygen atom with a sulfur atom. They are important from a pharmacological, biological and chemical point of view due to their multiple properties and applications [4]. Thiosemicarbazides have been studied extensively for their biological and pharmacological activities. Some of their properties are antimicrobial activity numerous studies have demonstrated that thiosemicarbazides and their derivatives exhibit antimicrobial activity against some microorganisms, including bacteria and fungi. Antitumor activity: Certain thiosemicarbazides have been investigated for anticancer properties, due to their ability to inhibit cell proliferation and induce apoptosis in tumor cells [5]. Antiviral properties: Thiosemicarbazides have shown antiviral activity against some viruses, being studied in the development of antiviral drugs. Anti-inflammatory and analgesic activity: Some studies suggest that thiosemicarbazides may also have anti-inflammatory and analgesic effects, being useful in the treatment of inflammatory conditions.

Schiff bases are a class of organic compounds characterized by the presence of an azomethine group (–C=N–)**,** formed by the condensation of a primary amine with an aldehyde or ketone**:**

$$R\text{-}NH_2+R\text{-}CHO\rightarrow R\text{-}N=CH\text{-}R+H_2O$$

Structural and Chemical Propertiesof sff bases :the C=N (azomethine) bond is central to the reactivity and functionality of Schiff bases.These compounds often contain additional donor atoms such as oxygen (O), nitrogen (N), or sulfur (S), which enables them to act as chelating ligands in coordination chemistry.Schiff bases derived from salicylaldehyde or thiosemicarbazide contain additional functional groups (e.g., –OH or

–C=S), enhancing their chelating ability and biological activity.Chemical Reactivity of schiff bases are generally unstable in acidic media, where they can undergo hydrolysis back to the parent amine and aldehyde.They are reducible to secondary amines.Due to their donor atoms (N, O, S), they form stable coordination complexes with many transition metals.

Applications of sff bases is various medicinal chemistry: Schiff bases show antibacterial, antifungal, anticancer, and antiviral activities Coordination Chemistry: Serve as bidentate or tridentate ligands in transition metal complexes.Analytical Chemistry: Useful as colorimetric sensors or metal ion indicators.Catalysis: Used in organic synthesis, including oxidation, condensation, and polymerization reactions.

Methods for the synthesis of Schiff base HL with a thiohydantoin fragment

To obtain thiohydantoin compound II (according to figure 1), the following method is used: leucine is dissolved in a solution of $NaHCO_3$.The reaction proceeds in the cooling system that involves stirring in an ice-water bath and salt, and to the solution in the stirring vessel, $CSCl_2$ is added dropwise where the color changes. After approximately 6 hours of stirring, the appearance of an oily layer representing the isothiocyanate is observed, and it is confirmed by FTIR and chromatographically in relation to the initial amine to confirm its consumption.

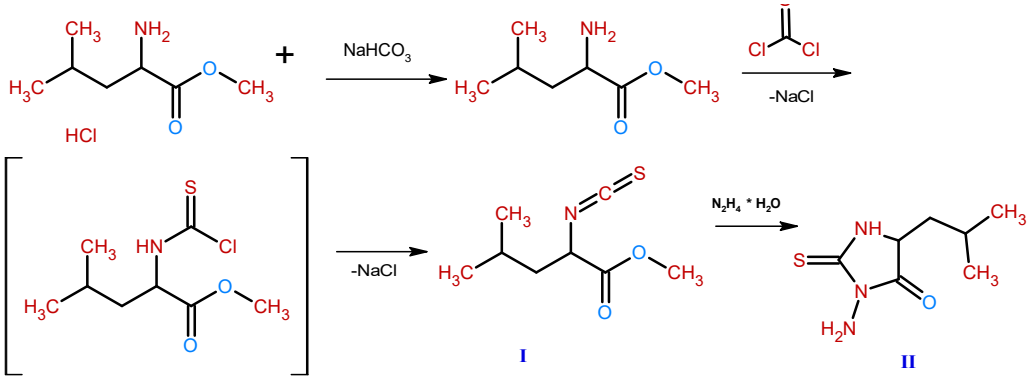


Figure 1. Scheme of synthesis of 3-amino-5-(2-methylpropyl)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-one (II)

After separating the organic layer and drying it, hydrazine monohydrate reacts with isothiocyanate. To the alcoholic solution of isothiocyanate (I), hydrazine monohydrate is added drop by drop in a 1:1 ratio and stirred for about 2 hours, during which a white solid forms. This solid is then filtered and dried. Next, it is mixed with salicylaldehyde while stirring and heating in ethanol, which results in the creation of a Schiff base (HL). To the alcoholic solution of isothiocyanate (I), hydrazine monohydrate is added drop by drop in equal amounts, and the mixture is stirred for about 2 hours, during which a white solid forms that is then filtered and dried. The precipitate is further subjected to condensation

with salicylaldehyde under stirring, temperature, and reflux conditions in ethanol, which subsequently leads to the formation of a Schiff base (HL).

The synthesis of 3-{-[(2-hydroxyphenyl)methylidene]amino}-5-(2-methylpropyl)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-one (HL) (figure 2) was carried out according to the classical methods of condensation of the corresponding amine (3-amino-5-(2-methylpropyl)-2-sulfanylideneimidazolidin-4-one (II)) with carbonyl compounds (salicylaldehyde) according to the synthesis schemes (figure 2).

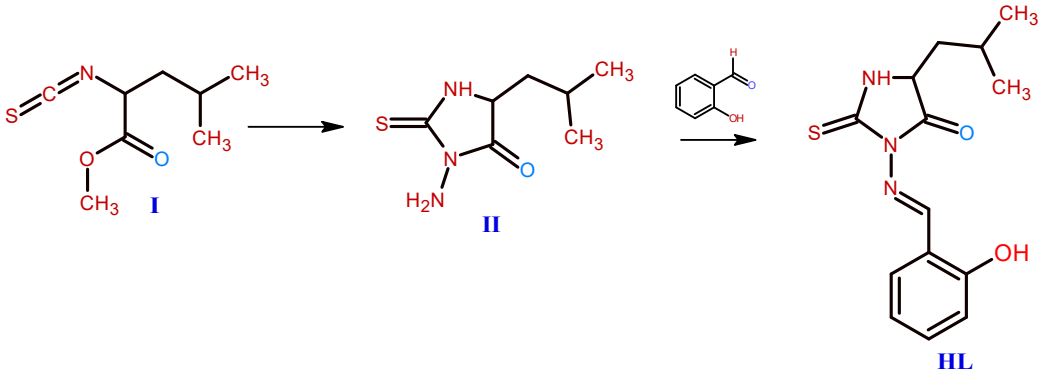


Figure 2. Synthesis scheme of 3-{-[(2-hydroxyphenyl)methylidene]amino}-5-(2-methylpropyl)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-one (HL)

RESULTS AND DISCUSSION

The syntheses yielded leucine-amine isothiocyanate, which was subsequently subjected to interaction with hydrazine monohydrate, which, following the heterocyclization reaction, leads to the formation of a new organic compound, characteristic of the class of compounds called thiohydantoins.

The results obtained were confirmed by IR spectroscopy, where the appearance of characteristic bands of both the classes of thiohydantoin compounds and thiosemicarbazones was observed. The characteristic bands are C=N stretch (imine): ~1600–1640 cm^{-1}, C=O (lactam): ~1690–1740 cm^{-1}**,** O–H (phenol): ~3200–3600 cm^{-1} (broad), and N–H: ~3300–3400 cm^{-1}. With ^{1}H-NMR, the characteristic peaks are imine proton (HC=N): ~8.0–8.5 ppm, aromatic protons (phenyl ring): ~6.8–7.6 ppm, OH (phenol): ~9–10 ppm (exchangeable, broad), aliphatic chain (isobutyl): ~0.9–2.5 ppm, and CH–N and CH (from ring): ~3–5 ppm. Characteristic peaks with ^{13}C-NMR C=N (imine group): ~160–170 ppm, C=O (lactam carbonyl): ~170–180 ppm, aromatic carbons: ~110–150 ppm, aliphatic CH, CH_2, CH_3: ~10–40 ppm. UV-Vis spectroscopy demonstrates that the substance obtained has the following characteristics: π→π* and n→π* transitions are due to the conjugated imine system, aromatic ring, and phenol group; absorption is expected around 250–350 nm**.** A physicochemical property of substances is solubility: likely soluble in ethanol**,** DMSO, and DMF and partially soluble in water.

CONCLUSION

The synthetic pathway shown above describes how to efficiently make the Schiff base ligand 3-{[(2-hydroxyphenyl)methylidene]amino}-5-(2-methylpropyl)-2-sulfanilideneimidazolidin-4-one (HL) through a series of steps. The synthesis begins with the cyclization to form the 2-sulfanylideneimidazolidin-4-one (compound I) and condensation of compound I with salicylaldehyde, the formation of compound II. This intermediate is an important building block for further modification through a reaction with 2-hydroxybenzaldehyde, which produces the final Schiff base HL. The resulting compound has several atoms that can donate electrons (N, O, S), which means it could act as a tridentate ligand useful in coordination chemistry. The presence of the imine bond (C=N), phenolic OH group, and thiocarbonyl group (C=S) suggests the compound may also exhibit intriguing biological or chelating properties. The overall process to make it is simple and effective, allowing for the creation of different types of ligands based on the imidazolidinone structure. This synthetic approach demonstrates the versatility of novel Schiff base ligands with potential applications in medicinal chemistry.

REFERENCES:

1. FABRA, David, et al. Proving the Antimicrobial Therapeutic Activity on a New Copper–Thiosemicarbazone Complex. In: *Molecular Pharmaceutics,* 2024, 21.4: pp.1987-1997. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.molpharmaceut.3c01235 KECK, J. Myles, et al. Clarifying the mechanism of copper (II) α-(N)- heterocyclic thiosemicarbazone complexes on DNA topoisomerase IIα and IIβ. In: *Chemical Research in Toxicology*, 2019, 32.10: pp.2135-2143. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemrestox.9b00311
2. UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA. *Utilizare a N-ciclohexil-2-[1-(piridin-2-il)]hidrazin-carbotioamidei în calitate de inhibitor al proliferării microorganismelor gram-pozitive și fungilor Candida albicans*: brevet MD 4648, Inventatori: GULEA, A, BURDUNIUC O., BALAN, G, RUSNAC, R, ȚAPCOV V, RUDIC, V. B1, Int.Cl: A61K 31/175, Publicat 30.09.2019. BOPInr.9/19
3. RUSNAC, Anna, RUSNAC, Roman, GARBUZ, Olga, BARBA, Nicanor, GULEA, Aurelian. *Sinteza şi cercetarea proprietăţilor biologice ale unor derivaţi ai 4-amino-5-metil-4H-1,2,4- triazolului-3-tiol.* În: *Studia Universitatis Moldaviae*. *Seria: Ştiinţe Reale şi ale Naturi*. 2016, nr. 6(96), pp.198-203. ISSN 1814-3237.
4. GARBUZ, O., GUDUMAC, V., TODERAS, I., GULEA, A. *Antioxidant Properties of Synthetic Compounds and Natural Products. Action Mechanisms*. Monograph. Chișinău: CEP USM, 2023, ISBN 978-9975-62-516-6.

N.B. *The experimental material presented in the article was developed within the national project ,,Synthesis and study of new materials based on complex combinations with polyfunctional ligands and with useful properties in medicine, biology and technology" (SSMCCLP) (code: 010602); details at: https://ichem.md/SSMCCLP.*

ANALIZA VARIAȚIILOR FUNCȚIILOR TERMODINAMICE ÎN SISTEME REALE DE TIP „SARE PRECIPITATĂ – SOLUȚIE APOASĂ”

ANALYSIS OF THERMODYNAMIC FUNCTION VARIATIONS IN REAL SYSTEMS OF THE “PRECIPITATED SALT – AQUEOUS SOLUTION” TYPE

CZU: 544.35 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.96**

Igor POVAR
ORCID: 0000-0003-2536-6706
E-mail: ipovar@yahoo.ca
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Oxana SPÎNU
ORCID: 0000-0002-3166-1931
E-mail: oxana.spinu@sti.usm.md
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *An original method was employed to investigate complex chemical equilibria in systems containing solid phases of varying nature and arbitrary composition, in the context of multiple secondary reactions occurring between the solid phase ions and the components of the saturated aqueous solution. The analysis considered secondary processes such as ligand protonation, metal ion hydrolysis, and the formation of neutral, protonated, and hydroxocomplexes. To systematically account for all coupled secondary reactions, the concept of a generalized reaction equation was introduced. This approach enables a more comprehensive and accurate thermodynamic interpretation of heterogeneous systems involving slightly soluble salts. Particular emphasis was placed on the influence of pH on the variations of thermodynamic functions, due to the critical role of hydrogen ions in the speciation and transformation of chemical species in aqueous media. The method offers a robust framework for evaluating the total change in thermodynamic functions in real systems of the “precipitate – aqueous solution” type, under conditions where classical approximations fail to capture the complexity of the interactions involved.*

Keywords: *Chemical Thermodynamics, Enthalpy, Entropy, Gibbs Energy, Heat Capacity*

INTRODUCERE

În cadrul unui experiment practic este imposibil de a cuprinde toată diversitatea dependențelor dintre temperatură și compoziția inițială a unui sistem multicomponent. Posibilitatea de derulare a proceselor de precipitare-dizolvare și condițiile de echilibru se determină cu ajutorul metodelor termodinamicii chimice. În majoritatea cazurilor analiza termodinamică a echilibrelor complexe se realizează prin metoda minimizării energiei libere (variația energiei Gibbs) [1]. Deși în literatura de specialitate s-a publicat un

număr impunător de algoritme și programe computerizate pentru calculul prin metoda minimizării energiei libere, nici una dintre acestea nu asigură posibilitatea de studiere a echilibrelor în sisteme multicomponente, dar și de a lua în considerație prezența concomitentă a câtorva faze în sistemul în stare de echilibru [2,3]. Or, la rezolvarea multor probleme practice (calcule ale echilibrelor chimice în soluții apoase, procese de precipitare-dizolvare, sinteza substanțelor etc.) anume aceste sisteme prezintă un interes sporit.

Studiul cantitativ al procesului de precipitare-dizolvare a sărurilor are o importanță indiscutabilă atât teoretică, cât și practică. În cercetările precedente a fost dovedit, că echilibrele în sistemele de tip *„precipitatul sării – soluție apoasă”* nu pot fi redate printr-o singură ecuație, în care figurează doar cationul *M* și anionul *A* [4,5]. Formarea-dizolvarea precipitatului sării $MA_{(S)}$ constituie un proces complex, în care se produc și câteva reacții secundare, cum ar fi hidroliza cationului, protonarea anionului, formarea de complecși ai ionului metalic atât cu un agent de complexare, cât și cu anionul sării, formarea unor complecși protonați și micști etc. În continuare, vom examina influența reacțiilor secundare sus-menționate asupra variațiilor funcțiilor termodinamice, ca entropia, entalpia și capacitatea calorică.

PARTEA TEORETICĂ

Din diversitatea unor posibile transformări chimice în soluție a cationului *M* și anionului *A* ale unei sări puțin solubile de o compoziție simplă $MA_{(S)}$ (aici simbolul “*S*” denotă faza solidă) vom examina inițial hidroliza cationului și protonarea anionului în conformitate cu *schema A*:

$$MA_{(S)} = M + A, \qquad K_S^0, \Delta H_S^0, \Delta c_{p(S)}^0 \tag{1}$$

$$M + iH_2O = M(OH)_i + iH, \qquad K_i^0, \Delta H_i^0, \Delta c_{p(i)}^0 \tag{2}$$

$$A + jH = H_jA, \qquad K_j^0, \Delta H_j^0, \Delta c_{p(j)}^0 \tag{3}$$

Aici K_S^0, K_i^0, K_j^0 reprezintă constantele termodinamice de echilibru; $\Delta H_S^0, \Delta H_i^0, \Delta H_j^0$ - variațiile entalpiilor standard și $\Delta c_{p(S)}^0, \Delta c_{p(i)}^0, \Delta c_{p(j)}^0$ - variațiile capacităților calorice ale reacțiilor respective (aici și în continuare sarcinile speciilor pentru comoditate sunt omise):

$$K_S^0 = a_M a_A \quad (4) \qquad K_i^0 = \frac{a_{M(OH)_i} a_H^i}{a_M} \quad (5) \qquad K_j^0 = \frac{a_{H_jA}}{a_A a_H^j} \quad (6)$$

În continuare vom nota prin indicii *s, i* și *j* toate cantitățile (mărimile) care se referă la reacțiile (1)-(3). Variațiile celorlalte funcții termodinamice, în particular, ΔG^0 și ΔS^0 se calculează cu ajutorul unor relații bine cunoscute în termodinamică:

$$\Delta G_S^0 = -RTlnK_S^0 = \Delta H_S^0 - T\Delta S_S^0 \tag{7}$$

$$\Delta G_i^0 = -RTlnK_i^0 = \Delta H_i^0 - T\Delta S_i^0 \quad (8)$$

$$\Delta G_j^0 = -RTlnK_j^0 = \Delta H_j^0 - T\Delta S_j^0 \quad (9)$$

Indicele *"0"* pentru constantele de echilibru (4)-(6) indică faptul că aceste constante sunt termodinamice.

În condițiile reale, de regulă, ionul metalic și anionul sunt prezenți în soluția saturată sub forma câtorva hidroxocomplecși $M(OH)_i$ și specii protonate H_jA și, prin urmare, se impune descrierea procesului integral (1)-(3) printr-o singură ecuație. În acest scop, pentru evidența corectă a bilanțului de masă (**BM**) se admite că hidroxocomplecșii și speciile protonate se formează în urma reacției proporțional cu fracțiile molare parțiale. Ultimele se formulează în modul următor:

$$f_i = \frac{[M(OH)_i]}{C_M} = \frac{[M(OH)_i]}{\sum_{i=0}^{m} [M(OH)_i]} \quad (10) \qquad f_j = \frac{[H_jA]}{C_A}$$

$$= \frac{[H_iA]}{\sum_{j=0}^{n} [H_jA]} \quad (11)$$

În rezultat, ecuația generalizată a reacțiilor ia forma:

$$MA_{(S)} + \left(\sum_{j=1}^{n} jf_j - \sum_{i=1}^{m} if_i\right)H + \left(\sum_{i=1}^{m} if_i\right)H_2O = \sum_{i=0}^{m} f_iM(OH)_i + \sum_{j=0}^{n} f_jH_jA \quad (12)$$

Specificul acestei ecuații constă în faptul, că coeficienții stoechiometrici sunt cantități variabile în funcție de compoziția sistemului. Descrierea echilibrelor în sistemul „*precipitatul unei sări puțin solubile – soluție apoasă*" cu ajutorul ecuației generalizate de interacțiune are un șir de avantaje. În primul rând o astfel de abordare permite determinarea în formă explicită atât a contribuției anumitor specii chimice în procesul de echilibru, cât și contribuției anumitor ecuații chimice, care descriu echilibrul chimic complex. În al doilea rând, analiza termodinamică a ecuației generalizate (12) permite determinarea oricăror funcții termodinamice ale sistemului.

În mod frecvent în sistemul „*precipitatul sării puțin solubile – soluție apoasă"* se introduce ligandul *L*, care formează cu ionul metalic compuși complecși stabili ML_i. În același timp ligandul însuși posedă proprietăți bazice Brønsted și, în funcție de pH, se protonează cu formarea speciilor H_qL. Prin urmare, în sistemul studiat echilibrul chimic poate fi reprezentat cu ajutorul sistemului de ecuații:

$$MA_{(S)} = M + A \qquad (13) \qquad M + iL = ML_i \qquad (14)$$

$$L + qH = H_qL \qquad (15) \qquad A + jH = H_jA \qquad (16)$$

Calcule pentru acest sistem conduc la ecuațiile:

$$\Delta S_S = RlnK_S\alpha_M\alpha_A + \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{m} f_i\Delta H_i^0 - \frac{\underline{m}}{T}\sum_{q=1}^{k} f_q\Delta H_q^0 + \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{n} f_j\Delta H_j^0 - RlnC_MC_A \qquad (17)$$

unde α_M, α_A sunt coeficienți de concentrație, iar prin $\underline{m}$ este notată funcția de formare Bjerrum.

$$\Delta H_s = \Delta H_S^0 + \sum_{i=1}^{m} f_i\Delta H_i^0 + \underline{m}\sum_{q=1}^{k} f_k\Delta H_q^0 + \sum_{j=1}^{n} f_i\Delta H_j^0 \qquad (18)$$

$$\Delta c_{p(S)} = \Delta c_{p(S)}^0 + \sum_{i=1}^{m} f_i\Delta c_{p(i)}^0 + \sum_{j=1}^{n} f_j\Delta c_{p(j)}^0 - \underline{m}\sum_{q=1}^{k} f_q\Delta c_{p(q)}^0 + \frac{1}{RT^2}\left[\sum_{i=1}^{m} f_i(\Delta H_i^0)^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} f_i\Delta H_i^0\right)^2 + \sum_{j=1}^{n} f_j(\Delta H_j^0)^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} f_j\Delta H_j^0\right)^2\right] - \frac{1}{RT^2}\left[\underline{m}\sum_{q=1}^{k} f_q(\Delta H_q^0)^2 + \left(\sum_{q=1}^{k} f_q\Delta H_q^0\right)^2\left\{\underline{m}(1-\underline{m}) + \sum_{i=1}^{m} i^2f_i\right\}\right] - \frac{2}{RT^2}\sum_{q=1}^{k} f_q\Delta H_q^0\left(\sum_{i=1}^{m} if_i\Delta H_i^0 - \underline{m}\sum_{i=1}^{m} f_i\Delta H_i^0\right) \qquad (19)$$

Aici m poate fi calculat din ecuația: $\underline{m} = \sum_{i=1}^{m} if_i$.

De remarcat că și în acest caz prezentarea funcțiilor termodinamice în formă de sumă a unor ecuații componente (13)-(16) este valabilă doar pentru entalpie și nu este valabilă pentru celelalte funcții.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Întrucât analiza expresiilor obținute în cazul general reprezintă o sarcină destul de dificilă, vom examina un exemplu de calcul al funcțiilor ΔS_S și ΔH_S pentru sistemul „$ZnS_{(S)}$ – *soluție apoasă”* și „$ZnS_{(S)}$ – *en* – *soluție apoasă*”, unde *en* este etilendiamina. Datele cunoscute pentru aceste sisteme sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Constantele utilizate în calcule

Reacția	**ΔH^0, kcal/mol**	**log®**	**Referințe**
$ZnS_{(S)} = Zn^{2+} + S^{2-}$	19.38	-24.35	[6,7]
$H^+ + S^{2-} = HS^-$	-12.10	12.92	[8,9]
$H^+ + S^{2-} = H_2S$	-17.40	19.97	[8,9]
$Zn^{2+} + H_2O = ZnOH^+ + H^+$	12.86	-8.96	[10,11]
$Zn^{2+} + 2H_2O = Zn(OH)_{2(aq)} + 2H^+$	20.92	-16.90	[10,11]
$Zn^{2+} + 3H_2O = Zn(OH)_3^- + 3H^+$	29.48	-28.40	[10,11]
$Zn^{2+} + 4H_2O = Zn(OH)_4^{2-} + 4H^+$	40.94	-41.20	[10,11]
$H^+ + en = Hen^+$	-11.88	9.94	[9,12]
$2H^+ + en = H_2en^{2+}$	-22.93	17.08	[9,12]
$Zn^{2+} + en = Znen^{2+}$	-6.81	5.71	[9,12]
$Zn^{2+} + 2en = Zn(en)_2^{2+}$	-13.74	10.37	[9,12]
$Zn^{2+} + 3en = Zn(en)_3^{2+}$	-18.71	12.09	[9,12]

Rezultatele calculului dependenței entalpiei și entropiei de pH în sistemele examinate pentru $C_{Zn} = C_S = C_{en} = 1$ mol L^{-1} sunt reprezentate în Fig. 1 și 2 respectiv. Se observă că funcțiile menționate manifestă o dependență substanțială de valorile pH-ului soluției. În afară de aceasta, introducerea în sistem a etilendiaminei conduce spre o variație importantă a dependenței ΔS_S și ΔH_S de pH. Un asemenea comportament al entalpiei și entropiei cu variația valorilor pH-ului devine înțeles, dacă examinăm echilibrele chimice în aproximare liniară pentru sistemele date [13]. Analiza demonstrează că în sistemul *„$ZnS_{(S)}$ – soluție apoasă”* echilibrul poate fi scris cu ajutorul sistemului de ecuații:

$$ZnS_{(S)} + (j - i)H + iH_2O = Zn(OH)_i + H_jS, \qquad j \geq i$$

$$ZnS_{(S)} + (i-j)OH + jH_2O = Zn(OH)_i + H_jS, \quad j \le i.$$

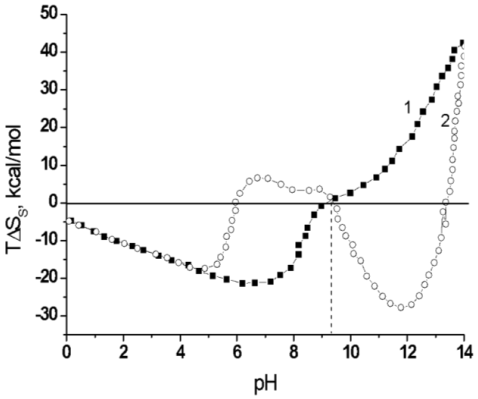


Figura. 1. Dependența $T\Delta S_S$ de pH în sistemele:
1 – „$ZnS_{(S)} - H_2O$”, $C_{Zn} = C_S = 1$ mol L^{-1};
2 – „$ZnS_{(S)} - en - H_2O$”, $C_{Zn} = C_S = C_{en} = 1$ mol L^{-1}.

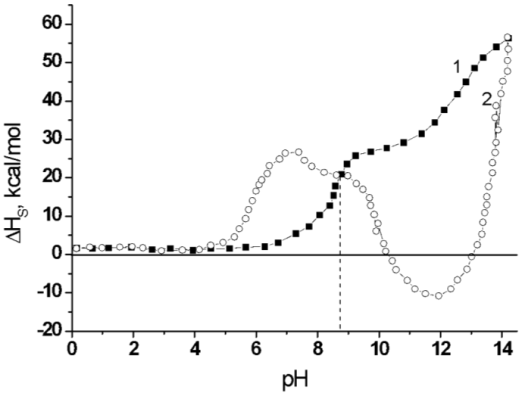


Figura. 2. Dependența ΔH_S de pH în sistemele:
1 – „$ZnS_{(S)} - H_2O$”, $C_{Zn} = C_S = 1$ mol L^{-1};
2 – „$ZnS_{(S)} - en - H_2O$”, $C_{Zn} = C_S = C_{en} = 1$ mol L^{-1}.

$i = 0$	$j = 2$	$0 \le pH \le 7.05$
$i = 0$	$j = 1$	$7.05 \le pH \le 8.40$
$i = 2$	$j = 1$	$8.40 \le pH \le 11.50$
$i = 3$	$j = 1$	$11.50 \le pH \le 12.70$
$i = 4$	$j = 1$	$12.70 \le pH \le 12.92$
$i = 4$	$j = 0$	$12.92 \le pH \le 14.00$

Din Fig. 1 (*1*) se observă, că creșterea entalpiei pentru $pH \geq 6$ este determinată, pe de o parte de hidroliza ionului de zinc, iar pe de altă parte de deprotonarea ionului de sulfură.

În prezența etilendiaminei natura proceselor chimice în sistem se modifică. În aproximație liniară avem:

$$ZnS_{(S)} + pH_q en + (j - p - qp)H + iH_2O = Zn(OH)_i + Znen_p + H_jS, \qquad j \ge i + qp$$

$$ZnS_{(S)} + pH_q en + (i + qp - j)OH + (j - qp)H_2O = Zn(OH)_i + Znen_p + H_jS, \qquad j \le i + qp$$

$i = 0$	$j = 2$	$q = 0$	$p = 0$	$0 \le pH \le 5.55$
$i = 0$	$j = 2$	$q = 2$	$p = 1$	$5.55 \le pH \le 6.20$
$i = 0$	$j = 2$	$q = 2$	$p = 2$	$6.20 \le pH \le 7.05$

$i = 0$	$j = 1$	$q = 2$	$p = 2$	$7.05 \leq pH \leq 7.14$
$i = 0$	$j = 1$	$q = 1$	$p = 2$	$7.14 \leq pH \leq 8.20$
$i = 0$	$j = 1$	$q = 1$	$p = 3$	$8.20 \leq pH \leq 9.94$
$i = 0$	$j = 1$	$q = 0$	$p = 3$	$9.94 \leq pH \leq 12.92$
$i = 0$	$j = 0$	$q = 0$	$p = 3$	$12.92 \leq pH \leq 13.60$
$i = 0$	$j = 0$	$q = 0$	$p = 3$	$13.60 \leq pH \leq 14.00$

Este evident, că creșterea ΔH_S în domeniul $5 \leq pH \leq 8$ este determinată de formarea complecșilor între ionul de zinc și etilendiamină. Descreșterea ΔH_S la $pH > 8$ și minimul la $pH \cong 12$ se explică prin deprotonarea etilendiaminei și a ionului de sulfură. În sfârșit, creșterea ΔH_S la valori mari ale pH-ului este provocată de predominarea hidroxocomplecșilor de zinc asupra complecșilor etilendiaminici. În mod analogic se explică și dependența ΔS_S de pH. După cum putem observa din Fig. 1 și 2, se manifestă o dependență similară ale funcțiilor ΔH_S și ΔS_S, dată fiind dependența monotonă a funcției ΔG_S de pH. Spre regret, lipsa datelor pentru $\Delta c^0_{p(I)}$ nu permite efectuarea calculelor dependenței capacității calorice de pH-ul soluției.

CONCLUZII

Abordarea termodinamică de descriere și analiză a echilibrelor chimice în sistemul *„precipitatul sării puțin solubile – soluție apoasă”* permite introducerea și calculul dependenței oricăror funcții termodinamice ale sistemului de condițiile experimentului (pH-ul, concentrațiile totale ale reactanților etc.). Abordarea menționată poate fi generalizată în cazul formării în soluție a speciilor de compoziție arbitrară $M_i(OH)_pH_qL_j$ sau $M_i(OH)_pH_qA_j$. Formarea compușilor complecși polinucleari conduce, însă, la unele particularități în comportamentul sistemului, de aceea acest aspect va fi examinat într-o lucrare următoare.

REFERINȚE:

1. NAJAFABADI, R., & SROLOVITZ, D. J. Evaluation of the accuracy of the free-energy-minimization method. In: *Physical review B*. 1995. vol.52(13), p.9229. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.52.9229
2. LOMOZIK, L., JASKOLSKI, M., & GASOWSKA, A. Comparative analysis of the performance of the computer programs SCOGS, MINIQUAD, and SUPERQUAD in studies of complex-formation equilibria. In: *Journal of Chemical Education*. 1995. vol.72(1), p.27. https://doi.org/10.1021/ed072p27
3. GARCIA, A., & MADARIAGA, J.M. Applications of computers in the study of solutions equilibria—III Evaluation of some programs for known ionic

equilibria. In: *Computers & chemistry*. 1984. vol.8(3), p.193-199. https://doi.org/10.1016/0097-8485(84)80005-4

4. POVAR, I., & RUSU, V. Aluminium heterogeneous speciation in natural waters. In: *Canadian Journal of Chemistry*. 2012. vol.90(4), p.326-332. https://doi.org/10.1139/v2012-003
5. POVAR, I., & SPINU, O. Correlation between global thermodynamic functions and experimental data in multicomponent heterogeneous systems. In: *Canadian Journal of Chemistry*. 2016. vol.94(2), p.113-119. https://doi.org/10.1139/cjc-2015-0411
6. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Editor-in-Chief David R. Lide. CRC Press, 1985. 2376 p.
7. KUMOK V.N., KULESHOV O.M., KARABIN L.A. *Solubility product*. Novosibirsk: Nauka, 1983. 266 p. [In Russian]
8. BULAKH A.G., BULAKH K.G. *Physico-chemical properties of minerals and components of hydrothermal solutions*. Saint-Petersburg: Nedra, 1978. 198 p. [In Russian]
9. INZEDI J. *Application of complexes in analytical chemistry*. Moscow: Mir, 1979. 376 p. [In Russian]
10. *Thermal Constants of Substances*. Editor V.P. Glushko. Moscow: Publishing House of the U.S.S.R. Academy of Sciences, 1965 – 1982. V. 1-10. [In Russian]
11. BARNUM D.W. Hydrolysis of cations. Formation constants and standard free energies of formation of hydroxy complexes. In: *Inorg. Chem*. 1983. vol.22(11), p.2297-2305. https://doi.org/10.1021/ic00158a016
12. MARTELL A.E., SMITH R.M. *Critical Stabi1ity Constants*. New York: Plenum Press, 1974 - 1977.
13. FISHTIK I.F. & POVAR I.G. Calculation of the Degree of Complexation in a Linear Approximation. In: *Koord. Khim*. 1991. vol.17(1), p.17-20. [In Russian]

N.B. *Această lucrare este inclusă în Programul de Cercetare Instituțională al Universității de Stat din Moldova (2024–2027), subprogramul „Identificarea procedeelor tehnologice de tratare, formare a calității și cantității apelor și cercetări avansate în chimia computațională și ecologică” (cod 010603).*

AUTOPURIFICAREA (AUTOEPURAREA) APELOR UZATE MENAJERE ŞI INDUSTRIALE TRATATE CONFORM TEHNOLOGIILOR DE EPURARE EXPERTIZATE ŞI APROBATE ÎN REPUBLICA MOLDOVA

SELF-PURIFICATION OF DOMESTIC AND INDUSTRIAL WASTEWATER TREATED ACCORDING TO EXPERTED AND APPROVED TREATMENT TECHNOLOGIES IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 628.35:544.52:546.21(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.97**

Maria SANDU
ORCID: 0000-0001-6617-7747
E-mail: maria.sandu@sti.usm.md
Institutul de Ecologie şi Geografie,
Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Raisa LOZAN
ORCID: 0000-0001-5305-1934
E-mail: raisa.lozan@sti.usm.md
Institutul de Ecologie şi Geografie,
Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Elena MOŞANU
ORCID: 0000-0003-0215-951X
email: elena.mosanu@sti.usm.md
Institutul de Ecologie şi Geografie,
Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Anatolie TĂRÎŢĂ
ORCID: 0000-0002-7152-3023
E-mail: anatol.tarita@sti.usm.md
Institutul de Ecologie şi Geografie,
Universitatea de Stat din Moldova, Chişinău, Republica Moldova

Summary. *The self-treatment capacity of domestic wastewater, treated by treatment technologies approved in the republic at discharge into the environment is higher than 0.2 with biological treatment from medium to high, and in some technologies at the exit from the system with a value of 0.07, biological treatability being lacking, and at 0.19 the biological treatability is low. In some industrial wastewater treatment technologies, at discharge into the environment, wastewater self-treatment at the outlet of the treatment system is from medium to low (AC of 0.12-0.2).*

Thus, it is necessary to comply with regulatory requirements regarding the conditions of discharge of wastewater into water bodies when implementing wastewater treatment technologies.

Keywords: *Self-treatment capacity, chemical oxygen demand (COD-Cr), biochemical oxygen demand (BOD_5), wastewater, treatment technologies.*

INTRODUCERE

Revoluția industrială a avut efecte pozitive semnificative în viața oamenilor, dar, în același timp, aceasta poate fi considerată ca fiind cauza principală a perturbării echilibrelor specifice care se manifestă în natură.

Unii din factorii principali care au contribuit semnificativ la degradarea calității unui component principal al mediului - apa din surse naturale sunt: creșterea populației, urbanizarea rapidă și activitățile industriale, cu impact asupra mediului. Aceste fenomene au implicații devastatoare nu doar pentru mediu, ci și pentru sănătatea publică, având efecte de lungă durată asupra disponibilității apei curate pentru băut, agricultură și alte necesități esențiale.

O provocare majoră pentru societățile moderne și un subiect esențial în contextul ecologic și sanitar actual, reprezintă apa uzată (apele industriale, menajere sau pluviale). Determinarea compoziției și tratamentul adecvat al apei uzate sunt vitale pentru protejarea mediului și sănătății publice.

Evoluțiile din punct de vedere calitativ ale apei au determinat creșterea preocupării Uniunii Europene, fiind adoptate reglementări comunitare, atât în privința apei dulci, de consum sau pentru îmbăiere, cât și cu privire la cursurile de apă sau cu privire la modul de utilizare a apei mărilor și oceanelor. În scopul protecției mediului înconjurător, a emisarului/apelor, în primul rând, dar și a solului și aerului [6, 14, 15], se realizează procesul de epurare, ce rezidă în îndepărtarea din apele uzate a substanțelor toxice, a microorganismelor, etc. În Republica Moldova calitatea apelor uzate la deversare în mediu este reglementată prin HG nr. 950 din 25.11.2013 [1], având drept bază prevederile Directivei UE nr. 91/271/CEE privind tratarea apelor uzate [2].

Conform datelor Biroului Național de Statistică, în a. 2023, volumul total al apelor uzate evacuate a alcătuit 68,8 mil. m^3, din care 65,9 mil. m^3 din localitățile urbane (95,8%) și 2,9 mil. m^3 din cele rurale (4,2%). De menționat că doar cca 76,5% din sistemele publice de canalizare erau dotate cu stații de epurare. Din cele 117 stații de epurare, 106 unități erau funcționale. Cea mai bună situație privind funcționalitatea stațiilor de epurare se atestă în mun. Chișinău (100%), urmată de regiunea Centru (94,2%), Nord (92,6%), Sud (81,8%) și UTA Găgăuzia (75%). Din volumul total de apă uzată epurată, 94,3% a fost epurată mecanic, 93,8% - biologic, iar 1,5% - evacuată în mediu fără tratament [3].

Efectul de poluare al apelor de suprafață cu apele uzate neepurate sau insuficient epurate se manifestă, în principal, prin conținutul de materii în suspensie, de materii organice, în săruri nutritive, amoniu și în microorganisme patogene. Este cunoscut faptul, că sărurile nutritive de azot și fosfor provoacă eutrofizarea apelor de suprafață, cu efect

de consumare a oxigenului dizolvat necesar pentru susţinerea vieţii acvatice. Amoniul este extrem de toxic pentru vietăţile acvatice. De asemenea, apele uzate neepurate sau insuficient epurate poluează apele subterane cu azotaţi (nitraţi), ioni de amoniu şi bacteriologic.

În cazul unui conţinut mare de substanţe organice consumul biochimic de oxigen (CBO_5) este foarte mare, fiind consumat mult oxigen din ape, deci se epuizează sursa de O_2 pentru biota acvatică. Pe lângă faptul, că insuficienţa O_2 duce la perturbarea şi chiar dispariţia biotei din apă apare şi un miros neplăcut, crescând şi toxicitatea apei, deoarece în lipsa oxigenului în apă se formează hidrogen sulfurat (H_2S) toxic [4].

Ca consecință, epurarea apelor uzate orășeneşti (şi nu numai) este un imperativ a dezvoltării civilizaţiei umane. În ultimele decenii au fost dezvoltate multe tehnologii pentru a găsi o modalitate economică şi eficientă de a recupera apele uzate, inclusiv tratarea fizică, chimică şi biologică, cum ar fi nămolul activ, sedimentarea, oxidarea cu ozon şi alte tehnologii [5].

În acest studiu se prezintă modalitățile de evaluare a capacității de autoepurare a apelor uzate menajere şi celor provenite din activităţi economice în baza informaţiei privind valorile CBO_5 şi CCO-Cr pentru tehnologiile de epurare expertizate de colaboratorii Institutului de Ecologie şi Geografie, USM, şi aprobate pentru utilizare în republică [6].

METODE ŞI METODOLOGII

Impactul poluării apei naturale este sever și include degradarea ecosistemelor acvatice, afectarea biodiversității și punerea în pericol a sănătății umane.

Datorită diversității compoziţiei apelor uzate industriale şi menajere, evaluarea autoepurării într-un proces de epurare este o sarcină complexă. ***Autoepurarea*** este însuşirea de care dispune o unitate acvatică (râu, lac, etc) de a absorbi, fără a suferi daune, o anumită încărcătură de poluanți, de a asigura distrugerea sau mineralizarea elementelor poluante respective.

Cel mai des se evaluează autoepurarea unui sistem de epurare în raport cu conţinutul materiei organice oxidabile (consumului chimic şi biochimic de oxigen), dar şi în funcţie de prezenţă compuşilor specifici sau a grupelor acestora: fenoli, hidrocarburi, grăsimi, produse petroliere, precum şi pe baza indicatorilor microbiologici.

Consumul biochimic de oxigen **CBO_5,** care redă măsura capacităţii de transformare oxidativă enzimatică, de natură biologică, determinată de microorganismele din apă. Concentraţia maxim admisă pentru acest indicator are valori cuprinse între 3-7 mgO_2/dm^3, iar concentraţia excepţională constituie 12 mgO_2/dm^3. Dinamica valorilor momentane şi medii pentru indicatorul CBO_5 scoate în evidenţă sectoarele pentru care se înregistrează o impurificare cu substanţe biodegradabile.

CCO-Mn. Variaţia concentraţiilor momentane şi medii pentru indicatorul CCO-Mn completează imaginea globală a impurificării apelor cu substanţe organice uşor oxidabile.

CCO-Cr, care reprezintă cantitatea de oxigen eliberată de o substanță chimică oxidantă pentru a descompune materiile organice. Acest indicator dă o imagine a impurificării apelor cu substanțe greu oxidabile, similar, în general cu gradul de încărcare a apelor cu substanțe organice ușor degradabile și scoate în evidență zonele de impurificare cu astfel de compuși. Diferența mare dintre valorile CCO-Cr și CBO_5 indică prezența unor substanțe poluante biologic stabile în apă.

În conformitate cu cerințele specificate în HG nr. 950 din 25.11.2013 [7], în cazul evacuării apelor uzate în sistemul de canalizare, valoarea CBO_5 trebuie să fie sub 225 mgO_2/dm^3 și cea pentru CCO-Cr sub 500 mgO_2/dm^3 (sau conform fișei tehnice a stației de epurare). La deversarea apei uzate epurate în receptori naturali valoarea CBO_5 la 20°C nu trebuie să depășească 25 mgO_2/dm^3, iar pentru CCO-Cr - 125 mgO_2/dm^3.

Impactul poluării apelor naturale prin deversarea apelor uzate neepurate este sever și include degradarea ecosistemelor acvatice, afectarea biodiversității și punerea în pericol a sănătății umane. Rolul decisiv în autopurificarea (autoepurarea) apei revine proceselor biologice și fizico-chimice. Procesele fizico-chimice decurg lent în prezența unor substanțe toxice, care, la rândul lor, inhibă procesele biologice din apă sau degradarea biochimică a substanțelor.

Capacitatea de autopurificare (autoepurare) este o proprietate a factorilor de mediu (apă, aer, sol) de a-și redobândi total sau parțial starea de puritate inițială, prin procese fizice, chimice și biologice și depinde de compoziția chimică, temperatură, cantitatea de poluanți evacuată la deversarea apelor uzate [8].

Capacitatea de autoepurare (CA) a apelor uzate epurate biologic este evaluată/calculată prin raportul CBO_5/CCO-Cr, indicat în Decizia executivă (UE) 2018/1147 a Comisiei din 10.08.2018 (pct. 5.1, c) pentru monitorizarea tratării deșeurilor colectate [9], precum și în diferite publicații științifice referitoare la tratabilitatea apelor uzate [10,11, 12]. Parametrii CBO_5 și CCO-Cr în apele uzate sunt determinați conform standardelor naționale [13-15].

Evoluția valorii capacității de autoepurare a apelor uzate epurate biologic, propusă în studiu, și valorile gradului de autoepurare a apei uzate este similară celor din publicațiile științifice, fiind clasificată în 5 grade de autoepurare prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Gradul autoepurării apelor de suprafață și uzate după valoarea capacității de autoepurare

Valoarea CA	Desfășurarea procesului de autoepurare
>0,6	autoepurarea este foarte mare și eficientă
0,4-0,6	autoepurarea este mare și se va produce ușor
0,2-0,4	autoepurarea este medie și se va produce numai la regim termic favorabil pentru populația bacteriană adaptată
0,1-0,2	autoepurarea este cu biodegradabilitate mică și se va produce lent numai la regim termic favorabil pentru populația bacteriană adaptată
<0,1	autoepurarea este imposibilă, sunt prezente substanțe toxice.

Pentru calcularea capacităţii de autoepurare (CA) a apelor uzate epurate prin tehnologiile, expertizate şi aprobate pentru utilizare în Republica Moldova au fost utilizate valorile CBO_5 şi CCO-Cr, indicate în actele oficiale ale tehnologiilor de tratare a apelor uzate menajere şi industriale prezentate spre expertizare şi expuse în publicaţia [6].

Considerând valoarea capacităţii de autoepurare a apei se poate determina eficienţa autoepurării (*Ef*, %) prin relaţia:

$$Ef = [(CA_i - CA_f) : CA_i] \text{ x } 100\%$$

în care: *Ef* - este eficienţa autoepurării, %;

CA_i - valoarea iniţială a capacităţii de autoepurare a apei uzate pentru care se determină eficienţa;

CA_f – valoarea (finală sau după o anumită perioadă de timp) a capacităţii de autoepurare a apei după epurare.

REZULTATE ŞI DISCUŢII

Cercetările ştiinţifice realizate denotă, că biota acvatică este într-o oarecare măsură purificatoare de ape, de aceea s-a dezvoltat tendinţa de a evalua procesele de autopurificare (autoepurare) a apelor naturale şi celor uzate prin tratarea biologică [16].

Sistemele de tratare biologică abordează problemele asociate cu consumul biochimic de oxigen. Instalaţiile biologice sunt mai frecvent utilizate pentru tratarea apelor uzate menajere sau combinate menajere şi industriale. În ele sunt practic aceleaşi procese, care ar avea loc în mod natural în apa receptoare, dar este necesar un sistem cu condiţii controlate astfel încât procesele de epurare să fie finalizate înainte ca apa să fie deversată în mediu.

Epurarea apelor uzate în republică se efectuează atât prin tehnologii de tratare de import cât şi autohtone. Expertizele ecologice, efectuate de colaboratorii Institutului de Ecologie şi Geografie, USM, a tehnologiilor de epurare a apei uzate (staţii de epurare, fose septice, separatoare de hidrocarburi şi grăsimi), implementate în republică, reprezintă evaluarea sistemelor specifice, bazate pe diverse procese fizice, chimice şi biologice, utilizate pentru diminuarea concentraţiei poluanţilor din apele uzate.

Componenţa apelor uzate menajere şi industriale după tratare, conform documentelor oficiale de descriere a tehnologiei prezentate de solicitant, valoarea CBO_5 şi CCO-Cr trebuie să corespundă normativului naţional la deversarea apei epurate în corpurile de apă din republică. Valorile capacităţii de autoepurare a apelor uzate menajere şi industriale, calculate pentru unele tehnologii în baza CBO_5 şi CCO-Cr (parametrii de calitate a apelor uzate tratate prin diferite metode şi tehnologii) din publicaţia [6] sunt prezente în tabelele 2 şi 3.

Capacitatea de autoepurare a apelor uzate menajere în unele tehnologii la deversarea în receptor variază de la 0,2 la 0,44, având tratabilitate biologică de la *medie* la *mare*, dar sunt şi tehnologii cu etape unde valoarea CA a apei uzate variază de la 0,07 (lipsa autoepurării biologice) până la 0,19 (autoepurare mică) după tratare şi deversarea în mediu (tab. 2).

Tabelul 2. Valorile cco-cr, cbo_5, a capacității de autoepurare și gradul autoepurării apelor uzate menajere după tratare prin intermediul tehnologiilor de epurare, expertizate și aprobate în republică

Tehnologia [6]	CBO_5	CCO-Cr	CA	Gradul de autoepurare (purificare)
	mgO/dm^3			
Sistemul S.C. DINOTEC	20	45	0,44	autoepurarea este înaltă
Sistemul IntelliBIO	22,6	75,1	0,3	autoepurarea este medie
Modelul AQUAOM	10,8	36,8	0,29	
Tehnologia BIOPROSES	20	70	0,29	
Zonă umedă construită "SKAT".	6,0-22	22-86	0,27-0,25	
Sistemele Compact WW, AQUA SYSTEM Plus, ETK	20	65-98	0,3-0,2	
Fose septice RADIALPLUS S.R.L	9	39	0,23	
Fosă septică Criber Net	20	98,4	0,2	
Tehnologia BIOTEC	10,8-20	36,8-90,0	0,29-0,22	
Tehnologia Kaldnes	15-20	75-90	0,2-0,21	
Sistemul AquaClean®	25	120	0,2	
Tehnologia ETC (EUROTANK)	20	98	0,2	
Sistemul SBR REG	25	125	0,2	
Tehnologia „VAVIBLOC"	15-20	100	0,15-0,2	autoepurarea variază de la mică la medie
Sistemul KLARO	6-12	39-51	0,16-0,24	
Tehnologia AQUAOM	6-20	36,8-100	0,16-0,2	
Tehnologia BIOFIX-U	15-20	100	0,15-0,2	
Utilajul SL-BIO DUO	12-31	85-119	0,14-0,26	
Sistemul BIOTAL	7	50	0,14	autoepurarea se încadrează în calificativul mică
Sistemul Rainpark	15	80	0,19	
Tehnologia tip PEST, PE, PP (6-250)	5	40	0,125	
Sistemul „UNILOS", Aerotancuri Verticale	2,2 -10	<30	0,07-0,33	autoepurarea variază de la lipsă la medie

Tratarea biologică a apelor uzate industriale are caracteristici specifice în comparație cu tratarea apelor uzate menajere, fiind necesară epurarea prealabilă înainte de tratarea biologică în vederea medierii compoziției (neutralizarea, creșterea valorii raportului CBO/CCO, completarea biogenă) și utilizarea mai multor etape pentru tratarea biologică a efluenților industriali.

Capacitatea de autoepurare a apelor uzate industriale în unele tehnologii valabile în republică la deversarea în mediu atinge valoarea 0,5 (autoepurare mare), altele - de la 0,12 (autoepurare mică) la 0,2 (autoepurare medie). Deci, autopurificarea apelor uzate industriale la ieşirea din sistemul de epurare evoluează de la *mare* la *medie* şi *mică* (tab. 3).

Tabelul 3. Valorile cco-cr, cbo_5, a capacităţii de autoepurare şi gradul autoepurării apelor uzate industriale la ieşirea din tehnologia de epurare valabilă în republică

Tehnologia [17]	**CBO_5**	**CCO-Cr**	***CA***	**Gradul autoepurării**
	mgO/dm³			
„ECOBIOX", spălare a automobilelor	15 30	30 60	0,5	autoepurarea este mare
„Aquaprotect Plus", Tratare borhot	25	125	0,2	autoepurarea este medie
CUSS Gmbh, Bruchweg, producerea berii	18	145	0,12	autoepurarea este mică

Astfel, este necesară respectarea cerinţelor reflectate în Regulamentului privind condiţiile de deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare public/staţia de epurare a apelor uzate [18] şi corpurile de apă [19] pentru a asigura o tratabilitate biologică eficientă la deversarea apelor uzate menajere şi din activităţile industriale într-un corp de apă de suprafaţă. În cazul apelor uzate, ce conţin substanţe poluante mai mari ca valorile limită stabilite în Regulament, este obligatorie luarea de măsuri tehnologice adecvate până la atingerea valorilor admise.

Raportul CBO_5/CCO-Cr pentru diferite staţii de epurare poate fi utilizat şi ca parametru de evaluare/verificare a eficienţei autoepurării şi a performanţei staţiei, fiind confirmată, de asemenea, la monitorizare prezenţa substanţelor toxice şi nebiodegradabile.

Rezultatele unui studiu efectuat demonstrează, că raportul CBO/CCO poate fi folosit ca un bun indicator pentru cunoaşterea conţinutului de materie organică din apele uzate menajere şi industriale, fiind determinată necesitatea însămânţării pentru tratarea lor biologică [20,21]. La deversarea într-un rezervor a apelor uzate tratate biologic este necesar să existe o concentraţie mare de oxigen dizolvat, ceea ce va asigura accelerarea proceselor de autoepurare a apei din sistem şi va îmbunătăţiţi regimul de oxigen din apă.

Este important, ca înainte de a selecta tehnologia şi materialul de însămânţare convenţional staţiei de epurare biologică a apelor uzate să se cunoască capacitatea şi eficienţa de autoepurare a apei uzate brute. De exemplu, în publicaţia Purnima Dhall, etc. (2012) a fost studiat raportul CBO/CCO al apelor uzate din industria lactatelor, analizând CBO

prin folosirea unei seminţe microbiene specifice**.** Rezultatele obținute au evidenţiat, că într-un consorţiu au fost cele mai bune performanţe în toate experimentele efectuate: creştere considerabilă a valorii CBO/CCO până la 0,91 (autoepurarea este foarte mare şi eficientă), faţă de 0,74, obţinută cu materialul de însămânţare convenţional după 90 de zile de incubare la 27°C, modificând astfel gradul de biodegradabilitate al apelor uzate industriale. Deci valoarea raportului CBO/CCO creşte semnificativ la folosirea materialului de însămânţare convenţional, care a fost propus de selectat pentru apele uzate de lactate [21]. Deci, pentru degradarea biologică a anumitor poluanţi prezenţi în apele uzate sunt necesare unele bacterii specifice.

CONCLUZII

1. Capacitatea de autoepurare a apelor uzate menajere tratare prin intermediul tehnologiilor de epurare, expertizate şi aprobate în Republica Moldova este mai mare de 0,2 *(cuprins între 0,2- 0,55)* la deversarea în mediu, iar tratabilitatea biologică de la *medie* la *mare*;
2. În tehnologiile cu etape de epurare a apei uzate după tratare cu valoarea CA de 0,07 lipseşte tratabilitatea biologică, iar la CA =0,19 tratabilitatea biologică este *mică*;
3. Capacitatea de autoepurare a apelor uzate industriale tratare prin unele tehnologii de epurare, la deversarea în mediu au tratabilitate biologică *bună/mare* (0,5), altele fiind cu valoarea CA de la 0,12 la 0,2 (tratabilitate biologică *mică*), astfel autoepurarea acestor ape uzate după tratare este de la *medie* la *mică*;
4. Relaţia dintre CBO_5 şi CCO pentru diferite staţii de epurare, poate fi utilizată ca parametru de verificare pentru a evalua performanţa acestor staţii de epurare pentru acţiune rapidă şi poate fi folosită la monitorizarea prezenţei substanţelor toxice şi nebiodegradabile;
5. Studiul CCO şi CBO în aceeaşi apă uzată denotă că raportul CBO/CCO al unei anumite ape uzate nu rămâne constant în timp, fiind necesară verificarea periodică din cauza variaţiilor sezoniere probabile ale condiţiilor climatice, caracteristicilor componenţei apei sau creşterea/prezenţa poluanţilor industriali;
6. Înainte de selectarea tehnologiei de epurare biologică a apelor uzate este important de stabilit indicele de autoepurare/biodegradabilitate al apei uzate brute după tratare şi de identificat bacteriile specifice utilizate pentru degradarea anumitor compuşi toxici prezenţi în apele uzate, îndeosebi cele industriale;
7. Pentru protecţia apelor naturale de poluare cu ape uzate insuficient sau netratate este necesar de respectat cerinţele specificate în HG nr. 802/2013 privind condiţiile de deversare a apelor uzate în corpurile de apă.

REFERINȚE:

1. https://www.researchgate.net/publication/362053527_BOD_COD_Ratio_as_Indicator_for_Wastewater_and_Industrial_Water_Pollution.

2. Directiva 91/271/CEE a Consiliului din 21 mai 1991 privind tratarea apelor urbane reziduale. Jurnalul Oficial al Uniunii Europene , 15/vol. 2. L 135, 30.5.1991, p. 43–55.
3. Resursele naturale şi mediul în Republica Moldova: Culegere statistică. Biroul Naţional de Statistică al Republicii Moldova. Chişinău, 2022, 113 p. ISBN 978-9975-53-418-5 (PDF).
4. T. Edmondson. The uses of Ecology. Lake Washington and Beyond. Washington, 1991. Tradus în limba rusă: Эдмонсон Т. Практика экологии. Об озере Вашингтон и не только о нем. Перевод с английского. М., Мир, 1998, 299 с. ISBN 5-03-002997-4.
5. Nicholas P. Cheremisinoff. "Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies," Boston, Elsevier Science, 2002. 636 p. ISBN0750674989, 9780750674980.
6. Sandu, Maria**.** Tehnologii de tratare a apelor destinate consumului uman, de epurare a apelor uzate menajere, industriale, pluviale şi a levigatului, expertizate în Republica Moldova: (Ghid ştiinţifico-practic destinat cercetătorilor ştiinţifici, studenţilor, masteranzilor, doctoranzilor, profesorilor în domeniul mediului şi protecţiei apelor). Chişinău, 2020, 160 p. ISBN 978-9975-3347-4-7.
7. HG nr. 950 din 25.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului privind cerinţele de colectare, epurare şi deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare şi/sau în emisare pentru localităţile urbane şi rurale. Monitorul Oficial nr. 284-289 din 06.12.2013, art. 1061.
8. https://ro.wikipedia.org/wiki/Capacitate_de_autoepurare.
9. Decizia Executivă (UE) 2018/1147 a Comisiei din 10.08.2018, care, în conformitate cu Directiva 2010/75/UE a Parlamentului European şi a Consiliului, stabileşte concluzii privind cele mai bune tehnologii disponibile (BAT) pentru tratarea deşeurilor (notificate conform document C (2018) 5070) (Textul se aplică SEE).
10. Кузнецов А. Е., Градова Н. Б. Прикладная экобиотехнология (в 2 т. Т.1 - 629 с., Т.2 - 485 с.), 2019. ISBN: ISBN 978-5-9963-2626-6 (Т. 1). http://pilotlz.ru/books/310/5097/
11. Diana Robescu, Felix Stroe, Aurel Presura, Dan Robescu – Tehnici de epurare a apelor uzate, Editura Tehnica, Bucuresti, 2011. https://www.filtre-apa-plata.ro/documents/Epurarea-biologica-a-apelor-uzate.pdf
12. Universitatea „Dunărea de Jos" Galaţi – Capitolul 7: Evaluarea indicatorilor calitativi și stabilirea unor soluţii individualizate pentru diverse surse de ape poluate din industria alimentară. p. 240-253**.** CAPITOLUL 7. Obiectivul VIII. http://www.apepur.ugal.ro/rezultate/Etapa3_cap7.pdf.
13. SM SR EN 1899-2:2007**.** Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile (CBOn). Partea 2: Metoda pentru probe nediluate.
14. SM SR EN ISO 10707:2012**.** Calitatea apei. Evaluarea în mediu apos a bi-

odegradabilităţii aerobe “ultime” a compuşilor organici. Metoda prin analiza consumului biochimic de oxigen (test în recipient închis).
15. SM SR ISO 6060:2006**.** Calitatea apei. Determinarea consumului chimic de oxigen.
16. Purnima Dhall, T. O. Siddiqi, Altaf Ahmad, Rita Kumar and Anil Kumar**.** Restructuring BOD:COD Ratio of Dairy Milk Industrial Wastewaters in BOD Analysis by Formulating a Specific Microbial Seed. Scientific World Journal, vol. 2012; 2012: PMC105712. doi: 10.1100/2012/105712 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3432350/
17. Regulamentul (CE) nr. 1882/2003 al Parlamentului European şi al Consiliului din 29 septembrie 2003.
18. HG nr. 802 din 9 octombrie 2013 pentru aprobarea Regulamentului privind condiţiile de deversare a apelor uzate în corpurile de apă**.** Monitorul Oficial nr. 243-247 din 01.11.2013, art. 931.
19. HG nr. 890 din 12.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la cerinţele de calitate a mediului pentru apele de suprafaţă. Monitorul Oficial din 22.11.2013, nr. 262-267, art. nr.1006.
20. HG nr. 932 din 20.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului privind monitorizarea şi evidenţa sistematică a stării apelor de suprafaţă şi a apelor subterane.
21. Ali Ch. Bader, Hayfaa J. Hussein and Mushtak T.Jabar. BOD: COD Ratio as Indicator for Wastewater and Industrial Water Pollution. INTERNATIONAL JOURNAL OF SPECIAL EDUCATION. 2022, vol. 37, no.3, p. 2164 – 2171.

BIOLOGICALLY ACTIVE 3d METAL COMPLEXES WITH 2-FORMYL- AND 2-ACETYLPYRIDINE 4,*S*-DIALLYLISOTHIOSEMICARBAZONES: SYNTHESIS, STRUCTURE, AND PROPERTIES

COMPLECȘII METALELOR 3D BIOLOGIC ACTIVI CU 4,S-DIALILIZOTIOSEMICARBAZONELE 2-FORMILPIRIDINEI ȘI 2-ACETILPIRIDINEI: SINTEZA, STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE

CZU: 544.142.3:547-304.6 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.98**

Irina USATAIA
ORCID: 0000-0002-6749-0687
E-mail: usataiairina@gmail.ru
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Vasilii GRAUR
ORCID: 0000-0001-8153-2153
E-mail: vasilii.graur@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Aurelian GULEA
ORCID: 0000-0003-2010-7959
E-mail: guleaaurelian@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Olga GARBUZ
ORCID: 0000-0001-8783-892X
E-mail: olga.garbuz@sti.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Greta BALAN
ORCID: 0000-0003-3704-3584
E-mail: greta.balan@usmf.md
State University of Medicine and Pharmacy "Nicolae Testemitanu", Chisinau, Republic of Moldova

Summary. *Eight coordination compounds of Ni(II), Co(III), and Fe(III) with 2-formylpyridine (HL^1) and 2-acetylpyridine (HL^2) 4,S-diallylisothiosemicarbazones were synthesized: $[Ni(HL^1)_2](NO_3)_2$ (**1**), $[Ni(HL^2)_2](NO_3)_2$ (**2**), $[Ni(HL^1)_2](I)_2$ (**3**), $[Co(L^1)_2]I$ (**4**), $[Co(L^2)_2]I$ (**5**), $[Fe(L^1)_2]NO_3$ (**6**), $[Fe(L^1)_2]Br$ (**7**), $[Fe(L^2)_2]NO_3$ (**8**). The ligands were characterized by*

NMR and FTIR spectroscopy, and the metal complexes were studied using elemental analysis, FTIR spectroscopy, and molar conductivity in methanol. The molecular structures of compounds 1–3 were confirmed via single-crystal X-ray diffraction. The biological activity of complexes was evaluated, revealing notable antibacterial, antifungal, and antioxidant properties. In particular, compounds 1, 2, 4, and 6 demonstrated higher antiradical activity against $ABTS^{\bullet+}$ cation radicals than Trolox, a commonly used antioxidant standard. These findings highlight the potential of such metal complexes in the development of new bioactive agents.

Keywords: *antifungal activity; antimicrobial activity; antioxidant activity; Co(III), Fe(III), Ni(II) coordination compounds; isothiosemicarbazones.*

INTRODUCTION

The escalating emergence of multidrug-resistant microbial strains, coupled with the growing recognition of oxidative stress as a key factor in the pathogenesis of numerous diseases, underscores the urgent need for the development of novel antimicrobial and antioxidant agents [1–3]. One of the current strategies in medicinal chemistry focuses on modifying existing biologically active molecules to develop more selective and less toxic therapeutic agents. Among the most promising scaffolds are thiosemicarbazide derivatives—versatile compounds known for their ability to coordinate with transition metals and for exhibiting a wide range of biological effects [4–5]. In particular, thiosemicarbazones based on heterocyclic aldehydes and ketones stand out due to their potential to form stable chelates and their marked pharmacological activity [6–7]. Functionalization of these molecules, for example by introducing allyl groups at the fourth position of the thiosemicarbazone moiety, significantly enhances their biological performance and broadens their therapeutic potential. Metal complexes with such ligands, especially those involving biologically relevant transition metals, have already shown promising results in preclinical models and have been patented as low-toxicity, high-efficacy agents [8–11]. Earlier studies reported the synthesis and biological evaluation of copper(II) complexes with 4,*S*-diallylisothiosemicarbazones of 2-formylpyridine (HL^1) and 2-acetylpyridine (HL^2) [12]. Building on these findings, the present work focuses on designing similar coordination compounds with selected 3*d* metal ions in order to explore how the nature of the metal influences their antimicrobial and antioxidant activities.

MATERIAL AND METHOD

All reagents were of analytical grade and used without further purification unless otherwise stated. The 3*d* metal salts were obtained from Merck (Darmstadt, Germany) and used as supplied. 2-Formylpyridine and 2-acetylpyridine, employed in the synthesis of 4-allyl-*S*-alkylisothiosemicarbazones, were purchased from Sigma-Aldrich and used without additional purification. Solvents were purified and dried according to standard methods [13].

^1H and ^{13}C NMR spectra were recorded on a Bruker DRX-400 spectrometer with $CDCl_3$ as the solvent. FTIR spectra were measured on a Bruker ALPHA FTIR spectro-

photometer in the range of 4000–400 cm^{-1} at ambient temperature. The metal content in the synthesized coordination compounds was determined by titrimetric analysis following procedures analogous to those described in the literature [14-16]. The molar conductivity of methanolic solutions of the complexes (0.001 M, 20°C) was measured using an R-38 Rheochord conductometer.

Prop-2-en-1-yl-N-(prop-2-en-1-yl)-N'-[(pyridin-2-yl)methylene]carbamohydrazonothioate (**HL^1**) was synthesized in three steps. First, allyl iodide (1.68 g, 10.0 mmol) was added to a stirred solution of 4-allylthiosemicarbazide (1.31 g, 10.0 mmol) in ethanol [12]. After stirring for 2 hours at room temperature, 2-formylpyridine (1.07 g, 10.0 mmol) was added, and the reaction mixture was heated at 70 °C for 30 minutes. Upon cooling, a yellow solid precipitated, which was filtered, washed with ethanol, and air-dried. The resulting solid ($[H_2L^1]I$) was dissolved in ethanol, and an aqueous solution of sodium carbonate was added dropwise to adjust the pH to 7–8. The neutral compound was extracted with chloroform and dried under vacuum. Yield: 75%; mp: 62–63 °C. IR (ν, cm^{-1}): 3219 (N–H), 1599, 1575, 1560 (C=N), 1096 (CH_2–S), 766 (C–S).

Prop-2-en-1-yl-N-(prop-2-en-1-yl)-N'-[1-(pyridin-2-yl)ethylidene]carbamohydrazonothioate (**HL^2**) was synthesized following the same procedure as for **HL^1**, using 2-acetylpyridine (1.21 g, 10.0 mmol) in place of 2-formylpyridine. Yield: 80%; mp: 96–97 °C. IR (ν, cm^{-1}): 3215 (N–H), 1601, 1583, 1558 (C=N), 1044 (CH_2–S), 743 (C–S).

General method for synthesis of coordination compounds 1-8. The metal salt was added to an ethanolic solution of the corresponding 4-allyl-*S*-alkylisothiosemicarbazone (HL^1 or HL^2), in a 1:2 molar ratio (metal to ligand). The resulting mixture was stirred at 60 °C using a magnetic stirrer for 40 minutes. Upon cooling, a precipitate formed, which was filtered, washed with a small amount of ethanol, and air-dried.

For the synthesis of coordination compounds of the hydroiodide of 4-allyl-S-alkylisothiosemicarbazones with nickel(II) and cobalt(II) acetates, an ethanolic solution of the hydroiodide of the 4-allyl-*S*-alkylisothiosemicarbazone of the ketone (**HL^1** or **HL^2**) was treated with nickel(II) or cobalt(II) acetate in a 1:2 molar ratio. The resulting mixture was stirred at 50–60 °C using a magnetic stirrer for 40–50 minutes. Upon cooling, a precipitate formed, which was filtered, washed with a small amount of ethanol, and air-dried.

Antibacterial activity

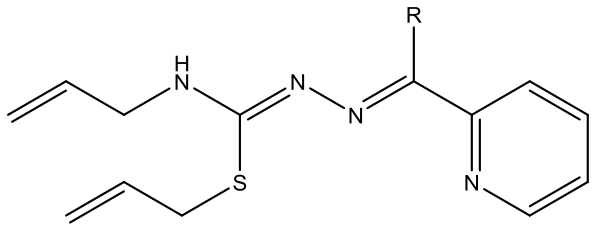
Standard strains of *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Escherichia col*i (ATCC 25922), *Candida albicans* (ATCC 10231), were used to study antibacterial activity of the synthesized compounds. The minimum inhibitory concentrations (MICs, μg mL^{-1}) and minimum bactericidal concentrations (MBCs, μg mL^{-1}) were determined using the method of serial dilutions in liquid broth. The tested substances were dissolved in DMSO at a concentration of 10 mg mL^{-1}. The next dilutions were made using 2% of peptone bullion.

Antioxidant Activity

The antioxidant activity of the synthesized compounds was evaluated using the ABTS$^{\bullet+}$ assay. The ABTS$^{\bullet+}$ radical cation was generated by mixing a 7 mM solution of ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), Sigma) with a 2.45 mM solution of potassium persulfate ($K_2S_2O_8$, Sigma) and incubating the mixture in the dark at 25 °C for 12–20 hours. The resulting radical solution was diluted with acetate-buffered saline (0.02 M, pH 6.5) until an absorbance of 0.70 ± 0.01 at 734 nm was achieved. Test compounds were prepared in DMSO at concentrations ranging from 1 to 100 μM. Then, 20 μL aliquots of each dilution were added to wells of a 96-well microtiter plate, followed by 180 μL of the ABTS$^{\bullet+}$ working solution, dispensed using the automated module of the BioTek Synergy H1 hybrid reader. After incubation for 30 minutes at 25 °C, the decrease in absorbance at 734 nm was recorded. All measurements were performed in triplicate. DMSO was used as the negative control, and blanks containing solvent without ABTS$^{\bullet+}$ were included. Each experiment was repeated three times, and the results were averaged.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Coordination compounds of nickel(II), cobalt(III), and iron(III) with 2-formylpyridine (HL^1) and 2-acetylpyridine (HL^2) 4,*S*-diallylisothiosemicarbazones and their hydroiodides ($[H_2L^1]I$, $[H_2L^2]I$) were synthesized, characterized, and their physicochemical and biological properties studied.



HL^1 (R=H), HL^2 (R=CH_3)

Heating ethanolic solutions of HL^1 or HL^2 with nickel(II), cobalt(II), and iron(III) salts (2:1 molar ratio) at 50–55 °C yielded microcrystalline brown solids (complexes 1–2, 5–8). Complexes 3–5 were obtained by reacting hydroiodides $[H_2L^1]I$ or $[H_2L^2]I$ with nickel(II) or cobalt(II) acetates (2:1 molar ratio). Eight complexes were obtained: $[Ni(HL^1)_2](NO_3)_2$ (1), $[Ni(HL^2)_2](NO_3)_2$ (2), $[Ni(HL^1)_2](I)_2$ (3), $[Co(L^1)_2]I$ (4), $[Co(L^2)_2]I$ (5), $[Fe(L^1)_2]NO_3$ (6), $[Fe(L^1)_2]Br$ (7), $[Fe(L^2)_2]NO_3$ (8). These compounds are soluble in common organic solvents but sparingly soluble in water. Molar conductivity in methanol showed nickel(II) complexes (1–3) behave as 1:2 electrolytes, while cobalt(III) and iron(III) complexes act as 1:1 electrolytes.

The IR spectra of HL^1 and HL^2 show characteristic bands of pyridine C=N and N4–H groups. In the complexes 1–8, the pyridine C=N band shifts 21–39 cm^{-1} to lower

frequencies, indicating coordination through the pyridine nitrogen. The N4–H band shifts down by 130 cm^{-1} in Ni(II) complexes and disappears in Co(III) and Fe(III) complexes, suggesting deprotonation. The azomethine C=N bands also shift 13–39 cm^{-1} to lower frequencies, confirming coordination via azomethine nitrogen. The C–S bands remain nearly unchanged, showing sulfur is not involved in coordination. New bands appear at 510–415 cm^{-1}, assigned to metal–N, metal–O, and metal–S vibrations.

The *in vitro* antimicrobial activity of isothiosemicarbazones HL^1 and HL^2 and some complexes was evaluated against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans* (Table 1). The free ligands showed moderate activity, with HL^2 being more effective than HL^1. Complexation significantly enhanced their antimicrobial effects. The $[Fe(L^1)_2]Br$ complex (**7**) exhibited the highest activity against Gram-positive bacteria, with MIC values of 1.95–0.98 µg/mL, surpassing the efficacy of furacilin. Cobalt complexes (4-5) also showed notable activity, especially against *B. cereus*.

Complexes containing the HL^2 ligand were more active against *E. coli*; for example, $Ni(HL^2)_2$ (**2**) showed moderate inhibition with an MIC of 125 µg/mL, whereas the corresponding HL^1-based complex was inactive. A similar trend was observed for the iron complexes. All tested complexes demonstrated higher antifungal activity against *Candida albicans* compared to nystatin, with MIC values ranging from 3.91 to 62.5 µg/mL, compared to 80 µg/mL for nystatin.

Table 1. Minimum inhibitory concentrations (MIC) and bactericidal/fungicidal concentrations (MBC/MFC) of coordination compounds 1, 2, 4, 5, 7, 8 against test bacteria and fungi (in µg/mL)

Compound	*Staphylococcus aureus* ATCC 25923		*Bacillus cereus* ATCC 11778		*Escherichia coli ATCC 25922*		*Candida albicans ATCC 10231*	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MFC
HL^1	125,0	250,0	31,25	62,50	>1000	>1000	15,63	31,25
HL^2	31,25	62,50	62,50	62,50	>1000	>1000	7,81	62,50
1	62,50	125,0	31,25	62,50	>1000	>1000	62,50	125,0
2	7,81	15,63	7,81	7,81	125,0	125,0	7,81	31,25
4	3,91	7,81	7,81	15,63	>1000	>1000	31,25	62,50
5	3,91	3,91	1,95	3,91	-	-	7,81	15,63
7	1,95	3,91	0,98	1,95	>1000	>1000	15,63	62,50
8	3,91	3,91	3,91	3,91	125,0	250,0	7,81	15,63
Furacilin	9,3	9,3	4,7	4,7	18,5	37,5	>1000	>1000
Nystatin	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	80	80

The study of antioxidant activity revealed that coordination significantly enhances the radical-scavenging properties of the synthesized isothiosemicarbazone-based compounds. Evaluation against ABTS•$^{+}$ cation radicals demonstrated that most nickel, cobalt, and iron complexes exhibit higher antioxidant activity than previously reported copper(II) analogs [12]. Among the investigated compounds, $[Ni(HL^2)_2](NO_3)_2$ (2) showed the highest activity, with an IC_{50} value of 23.2 ± 0.4 μM. Complexes $[Co(L^1)_2]I$ (4), $[Ni(HL^1)_2](NO_3)_2$ (1), and $[Fe(L^1)_2]NO_3$ (6) also demonstrated notable activity (IC_{50} = 25.7 ± 0.5 μM, 27.3 ± 0.7 μM, and 27.4 ± 2.4 μM, respectively), all surpassing the reference antioxidant Trolox (IC_{50} = 33.3 ± 0.2 μM).

Overall, complexes derived from HL^1 generally exhibited stronger antioxidant properties than those based on HL^2, with the exception of the nickel(II) complex (2), which proved to be the most active compound in the series.

Table 2. Antioxidant activity of compounds HL^1, HL^2, 1, 2, 4, 5, 6, 8 with the corresponding isothiosemicarbazones against ABTS$^{\bullet+}$ cation radicals

Compound	IC_{50}, μM
HL^1 [12]	28.5 ± 4.0
HL^2 [12]	80.8 ± 13.4
1	27.3± 0.7
2	23.2 ± 0.4
4	25.7 ± 0.5
5	72.4 ± 4.2
6	27.4± 2.4
8	69.5 ± 1.0
Trolox	33.3 ± 0.2

CONCLUSIONS

The 2-formylpyridine (HL^1) and 2-acetylpyridine (HL^2) 4,*S*-diallylisothiosemicarbazones and their coordination compounds with Ni(II), Co(III), and Fe(III) were synthesized and characterized. Coordination with metal ions significantly enhanced the biological activity of the ligands. Complexes with **HL^2** showed improved activity against *Escherichia coli*, while the $[Fe(L^1)_2]Br$ complex exhibited the highest antibacterial effect against *Gram-positive* strains. All studied complexes demonstrated stronger antifungal

activity against *Candida albicans* compared to nystatin. In antioxidant assays, most Ni, Co, and Fe complexes showed higher radical-scavenging activity than previously reported Cu(II) analogs, with $[Ni(HL^2)_2](NO_3)_2$ being the most active. The biological activity of the complexes is strongly influenced by both the metal center and the nature of the isothiosemicarbazone ligand.

REFERENCES:

1. HABIBI, A., SADAT SHANDIZ, S., SALEHZADEH, A. et al. Bioinorganic and spectroscopic investigations of new metal complexes. In: *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 2020, Vol. 25, p. 13–22.
2. ZALTARIOV, M., HAMMERSTAD, M., ARABSHAHI, H. et al. Platinum(II) complexes with siloxane ligands. In: *Inorganic Chemistry*, 2017, Vol. 56, p. 3532–3549. DOI: http://dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.6b03178.
3. PAHONTU, E., PROKS, M., SHOVA, S. et al. Structural and biological study of new organometallic compounds. In: *Applied Organometallic Chemistry*, 2019, Vol. 33, e5185.
4. GRAUR, V., GULEA, A. Novel biological agents based on metal complexes of N4-allylthiosemicarbazones and their derivatives. Monograph. Chișinău: CEP USM, 2024, ISBN 978-9975-62-716-0.
5. PAHONTU, E., USATAIA, I., GRAUR, V. et al. Copper(II) complexes with Schiff bases. In: *Applied Organometallic Chemistry*, 2018, Vol. 32, e4544.
6. BALAN, G., BURDUNIUC, O., USATAIA, I. et al. Synthesis and biological evaluation of new organometallic compounds. In: *Applied Organometallic Chemistry*, 2020, Vol. 34, e5423.
7. GRAUR, V., CHUMAKOV, Yu., GARBUZ, O. et al. Study of biologically active coordination compounds. In: *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2022, Vol. 2022 (1), p. 1–18.
8. GULEA, A., USATAIA, I., GRAUR, V. et al. Coordination chemistry of copper(II) with hydrazones. In: *Russian Journal of General Chemistry*, 2020, Vol. 90 (4), p. 630–639.
9. GRAUR, V., USATAIA, I., BOUROSH, P. et al. Synthesis and characterization of new complexes. In: *Applied Organometallic Chemistry*, 2021, Vol. 35, e6172.
10. GRAUR, V., USATAIA, I., GARBUZ, O. et al. Copper-based complexes with potential biological activity. In: *Medical Sciences Forum*, 2022, Vol. 14 (1), p. 33.
11. GRAUR, V., MARDARI, A., BOUROSH, P. et al. Antibacterial activity of new coordination compounds. In: *Acta Chimica Slovenica*, 2023, Vol. 70, p. 122–130.
12. GRAUR, V., USATAIA, I., GRAUR, Ia. et al. Novel copper(II) complexes with

N4,S-diallylisothiosemicarbazones as potential antibacterial/anticancer drugs. In: *Inorganics*, 2023, Vol. 11, p. 195.
13. PERRIN, D., ARMAREGO, W., PERRIN, D. *Purification of Laboratory Chemicals*. New York: Pergamon, 1990.
14. ПЕШКОВА, В., САВОСТИНА, В. *Аналитическая химия никеля*. Москва: Наука, 1966, с. 83.
15. ПЯТНИЦКИЙ, И. *Аналитическая химия кобальта*. Москва: Наука, 1965, с. 119.
16. БЕЛЯВСКАЯ, Т. *Практическое руководство по гравиметрии и титриметрии*. Москва: Издательство Московского Университета, 1986, с. 123

N.B. *The work was carried out within the subprograms „Synthesis and study of new materials based on complexes with multifunctional ligands and with useful properties in medicine, biology and technology" (code: 010602) and "Evaluation of the structure and functioning of the animal world and aquatic ecosystems under the influence of biotic and abiotic factors in the context of ensuring ecological security and the well-being of the population" (code: 010701) within the institutional project.*

SUBSTANȚELE CHIMICE – PERICOL POTENȚIAL PENTRU SĂNĂTATE

CHEMICALS – POTENTIAL HAZARD TO HEALTH

CZU: 614.8 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.99**

Mariana ZAVTONI
ORCID:0000-0001-8402-3768
E-mail: mariana.zavtoni@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Vladimir BERNIC
ORCID:0000-0002-1627-0860
E-mail: vladimir.bernic@ansp.gov.md
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Inga MIRON
ORCID:0009-0002-9512-9810
E-mail: inga.miron.555@gmail.com
Agenția Națională pentru Sănătate Publică, Chișinău, Republica Moldova

Summary*.The article highlights the importance of raising awareness of the potential dangers of chemicals to human health. Exposure to potentially dangerous chemicals can have adverse effects on human health. In the process of processing and generalizing the data, analytical methods were used, with the application of the electronic spreadsheet of the Microsoft Office Excel program. As a result of the assessments, it was found that most pesticides used were from the groups with herbicide, fungicide, insecticide effect in the number of 361, 343 and 165 respectively. We also know that some categories of the population, for example children and people with chronic diseases, are much more vulnerable to chemicals than other categories.*

Keywords*: human body, pesticides, chemicals, health.*

INTRODUCERE

Sănătatea și bunăstarea oamenilor sunt strâns legate de calitatea mediului, iar starea de sănătate a populației este un indice integrat al dezvoltării sociale a țării și pot fi afectate de numeroase substanțe chimice ce pot prezenta pericol pentru sănătate [1,2].

Substanțele chimice pot avea atât efecte benefice, cât și dăunătoare asupra sănătății, în funcție de tipul substanței, concentrație, durata expunerii și vulnerabilitatea individuală a organismului uman. Expunerea la substanțe chimice poate provoca diverse probleme de sănătate, de la iritații minore, alergii, boli de piele până la afecțiuni grave,

cum ar fi cancerul sau malformații congenitale, afectând sistemul imunitar și creșterea susceptibilității la infecții [3,4].

Efectele pot fi acute sau pe termen lung, iar unele substanțe pot avea un efect cumulativ.

Din 1950 până în 2000 volumul de substanțe chimice produse în lume a crescut de peste 50 de ori, iar la nivel mondial se înregistrează zilnic multe substanțe noi. Acest fapt mărește presiunea generală exercitată de substanțele chimice asupra oamenilor și mediului, astfel și riscul de efecte nocive [5].

Majoritatea eforturilor făcute în trecut s-au axat pe substanțe individuale care erau considerate nocive. De asemenea, adesea, lucrurile pe care odată le credeam sigure dovedesc că au efecte care se manifestă mai târziu. În prezent, unele substanțe, care s-au dovedit a fi extrem de periculoase — precum azbestul sau bifenilii policlorurați (PCB) — sunt interzise sau se află sub supraveghere strictă [4].

Problema este că poate dura mult timp până când obținem date suficiente pentru a dovedi nocivitatea, iar între timp substanțele se răspândesc [5].

De asemenea, știm că unele categorii de populație, de exemplu copiii, femeile însărcinate și oamenii cu afecțiuni cronice, sunt mult mai vulnerabile la substanțele chimice decât alte categorii.

În ansamblu, cunoștințele noastre despre impactul pe care îl pot avea în general substanțele chimice sunt încă foarte restrânse. Uniunea Europeană lucrează pe mai multe filiere pentru protejarea sănătății umane, având ca bază legislația REACH, care este probabil cea mai avansată legislație privind substanțele chimice din lume și care la ora actuală este în curs de revizuire. În UE se promovează o nouă inițiativă specială privind biomonitorizarea umană, orientată să obțină informații despre expunerea populației la substanțe chimice indiferent de sursa din care provin acestea. În același timp, multe dintre acțiunile care se realizează în diferite domenii tematice au legătură cu substanțele chimice [5].

Multe teste de laborator susțin, că aproape totul în lumea modernă, inclusiv fructele proaspete, prezintă un cocktail consistent de substanțe chimice de sinteză. Astfel, putem lista unele dintre chimicalele din produsele de zi cu zi cel mai frecvent suspectate că ar avea posibile influențe nefaste asupra sănătății.

Aproximativ 98% dintre oameni sunt expuși la substanțe chimice perifluorinate, substanțe sunt foarte eficiente în respingerea grăsimii și a apei, utilizate în industria veselei, dar care reduc fertilitatea.

Alt produs ar fi ftalații, substanțe chimice utilizate în industrie ca plastifianți, pentru producția de materiale plastice, dar ei apar și într-o serie de alte zone ale vieților noastre, așa cum ar fi pastilele de tip capsulă și tonerul de imprimantă. Numeroase studii au demonstrat toxicitatea ftalaților în special asupra femeilor gravide și a sistemului reproducător masculin. Problema cea mai mare este că aceste substanțe chimice au o răspândire atât de largă, încât sunt aproape imposibil de evitat [4].

Multe pesticide sunt special create încât să otrăvească sistemele nervoase ale dăunătorilor, ceea ce este îngrijorător și pentru oameni. Pe de altă parte, pesticidele sunt

substanțele chimice cu cea mai strictă reglementare dintre toate tipurile de chimicale. Cert este că urme de pesticide sunt larg răspândite. Expunerea la pesticide poate crește riscul de afectare a diferitor sisteme şi organe, inclusiv cancer, diabet, obezitate. De menționat precum că în 2012, UE a încheiat investigarea a 1.000 de pesticide, ceea ce a condus la retragerea de pe piață a circa 700 de chimicale vechi. Se derulează acum, atât în UE cât și în SUA, activități de înregistrate a unor alternative noi și mai sigure la pesticidele vechi.

Deosebit de periculoase sunt biberoanele şi suzetele cu bisfenol A care, supuse permanent salivei, eliberează toxine nocive direct în organismul copilului. Bisfenolul A, după cum s-a demonstrat, dereglează sistemul endocrin, afectează sistemul nervos central (creierul), mai ales la copii. Astăzi se ştie că bisfenolul A este cancerigen şi că poate provoca sterilitate atât la bărbaţi, cât şi la femei.

Conform unui studiu publicat în revista Live Science, cercetătorii au detectat peste 50 de noi substanţe chimice din mediul înconjurător în corpurile oamenilor, marea majoritate fiind compuşi puţin cunoscuţi sau necunoscuţi [7].

MATERIAL ȘI METODĂ

Evaluarea nivelului de aplicare a pesticidelor s-a efectuat analizând datele statistice „Darea de seamă privind starea sanitară şi epidemiologică" F-18, a MS al RM, "Raport privind stocul şi utilizarea produselor de uz fitosanitar" f-2/e și f-10/e, MAIA. În baza datelor statistice ale Agenției Naționale pentru Sănătate Publica, Biroului Național de Statistică a Republicii Moldova a fost estimată morbiditatea populației. Au fost evaluate surse din literatura de profil, rezultatele studiilor științifice, articole publicate în revistele de specialitate, recomandările organizațiilor internaționale, reglementările stipulate în legislația Uniunii Europene. În procesul de procesare și generalizarea a datelor au fost utilizate metode analitice, cu aplicarea tabelei de calcul electronic al programului Microsoft Office Excel.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Viața de zi cu zi și datele de literatură ne confirmă faptul că în ultimii ani, expunerea umană la diverse substanțe chimice a sporit semnificativ.

La nivel mondial producția de substanțe chimice este în permanentă creștere. Potrivit unui ghid UE al substanțelor chimice sintetice înregistrate, acestea ar fi în jur de 144.000, dintre care, circa o treime se consideră că sunt dăunătoare. În plus, există planuri ca industria chimică să se tripleze până în 2050 [5]. Problemele legate de utilizarea sigură a substanțelor chimice și reducerea potențialelor efecte secundare asupra sănătății, preocupă specialiști din întreaga lume.

Estimările igienice au demonstrat că în ultimii ani expunerea umană la substanțe chimice a sporit semnificativ și are loc permanent. Exista o serie îngrijorătoare de substanțe chimice care ne pot afecta sănătatea și pot duce la diferite afecțiuni. În

cazul utilizării lor în cantități care depășesc limita admisă, pot apărea afecțiuni grave [4].

De menționat aici utilizarea pesticidelor, ce se folosesc pe scară largă, Moldova fiind o țară preponderent agrară. Astfel aceste produse reprezintă o îngrijorare pentru sănătatea publică, deoarece pot duce la grave afecțiuni ale organismului uman. Problema impactului acestui grup asupra organismului uman poartă caracter complex.

Este demonstrat faptul că consumul pe termen lung a produselor contaminate cu reziduuri de pesticide, poate prezenta risc pentru sănătatea populației.

În urma calculelor intensității utilizării pesticidelor pe podgoriile prelucrate conchidem precum în mediu pe țară în anul 2024 au fost utilizate 2,0 kg/ha.

În rezultatele analizei informațiilor privind utilizarea pesticidelor, s-a constatat precum în anul 2024 în Republica Moldova au fost utilizate 996 produse de uz fitosanitar în cantitate de 2218,350 tone (tabelul 1).

Tabelul 1. Numărul de produse și cantitatea totală utilizată în anul 2024 în Republica Moldova

Nr d/o	Denumirea grupului de pesticid	Numărul de produse	Cantitatea utilizata, tone
1	Insecticide și acaricide	165	221
2	Fungicide	343	799
3	Erbicide	361	1074
4	Defolianți și desicanți	6	3,11
5	Produse pentru tratarea semințelor	46	30,8
6	Fumiganți	3	0,75
7	Produse biologice și feromoni sexuali	16	8,03
8	Substanțe active superficiale și adjuvanți	30	74,1
9	Reglatori de creștere	26	8,59
Total		**996**	**2218**

Cel mai mare număr de pesticide utilizate au fost din grupele cu efect erbicid, fungicid, insecticid în număr de 361, 343 și 165 respectiv (figura 1).

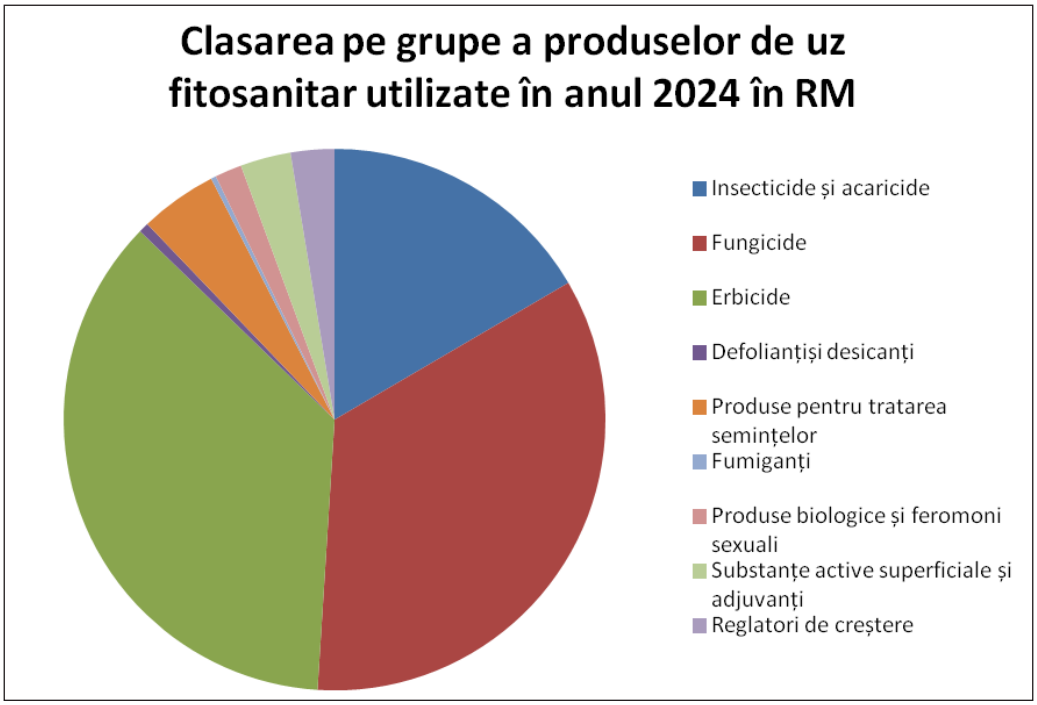


Figura 1. Clasarea pe grupe a produselor de uz fitosanitar utilizate în anul 2024 în Republica Moldova

Mai mult, nu toate substanțele prezintă efecte imediate – unele pot cauza boli mult mai târziu în viață, precum în cazul perturbatorilor endocrini care scad fertilitatea și cauzează creșterea nivelului de colesterol și obezitate. Unele substanțe au efecte întârziate și ating un nivel critic, cauzând probleme de sănătate.

Analizând datele statistice cu privire la morbiditatea generală [8,9] a populației pe o perioadă de 10 ani (2014-2023) putem spune că totalitatea cazurilor de îmbolnăviri înregistrate în perioada estimată atestă o creștere medie anuală cu referire la numărul de cazuri la 100 mii populație (figura 2). Îndeosebi a sporit prevalența generală: de la 9607,7 $^{0}/_{000}$ în anul 2014 până la 11904,6 $^{0}/_{000}$ în anul 2023.

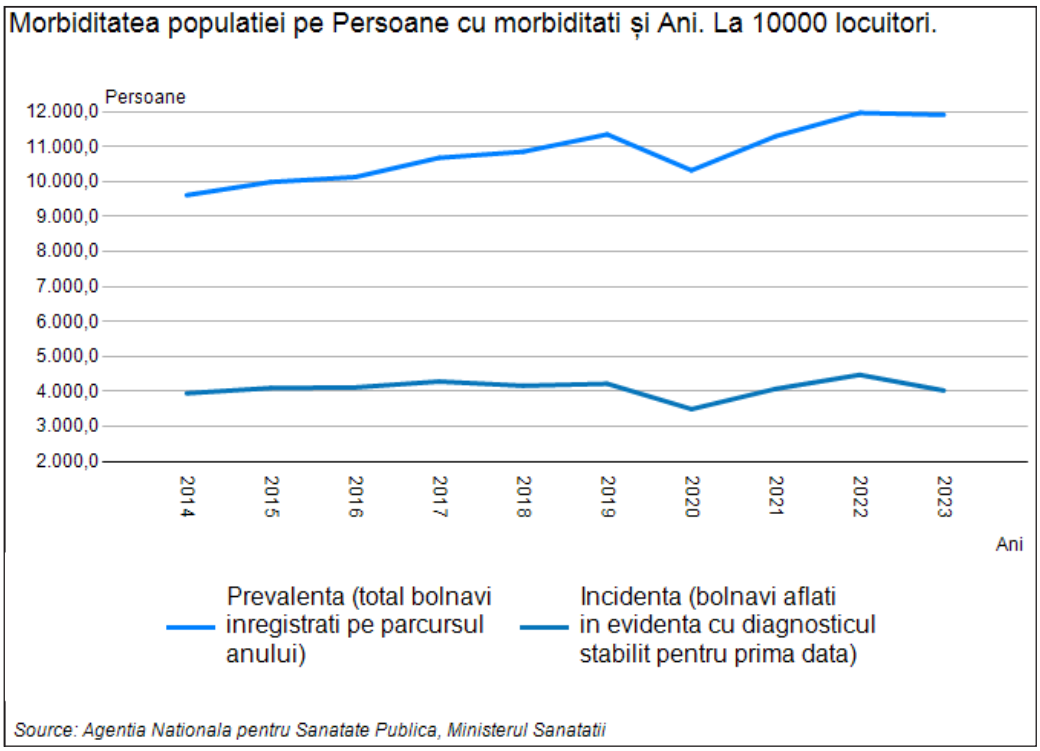


Figura 2. Dinamica morbidității generale a populației Republicii Moldova, anii 2014-2023

Este important să fim conștienți de pericolele potențiale asociate cu substanțele chimice și să luăm măsuri adecvate pentru a ne proteja sănătatea. Ca urmare, apare întrebarea, cum ne protejăm de acțiunea substanțelor chimice care ne pot afecta organismul. Un moment ar fi, conștientizarea populației despre substanțele chimice prezente în mediul înconjurător și în produsele pe care le folosim.

La fel, utilizarea echipamentului de protecție adecvat (măști, mănuși, ochelari), asigurarea unei bune ventilații atunci când lucrăm cu substanțe chimice periculoase. Limitarea expunerii la substanțele chimice prin evitarea contactului direct cu pielea sau inhalarea vaporilor.

CONCLUZII

Orice neglijență în utilizarea substanțelor chimice poate duce la consecințe grave asupra sănătății umane și chiar la deces. Prin urmare, este indispensabil conștientizarea populației cu privire la pericolul substanțelor chimice și importanța manipulării adecvate a substanțelor chimice pentru a preveni și chiar reduce impactul acestora asupra sănătății.

Minimizarea pericolului substanțelor chimice prin activități de informare/sensibilizare a populației, întru evitarea depozitării necorespunzătoare, reambalarea produselor în recipiente care pot fi confundate cu apa, hrana, nerespectarea instrucțiunilor de pe etichetă, ignorarea folosirii echipamentului individual de protecție, etc.

REFERINȚE:

1. M.Zavtoni, N.Opopol. *Starea de sănătate a populației prin prisma utilizării pesticidelor*. Sănătate Publică, economie și management în medicină. Chișinău, 2016, 6 (70), 106-109. ISSN 1729-8687.
2. Mariana Zavtoni. *Siguranța aplicării pesticidelor – cerință dictată de sănătatea populației*. Buletinul academiei de științe a Moldovei. Științe medicale. Chișinău, 2016, 1 (46), p. 197-200. ISSN 1857-0011.
3. https://www.google.com/search?q=substantele+chimice+si+sanatatea&rlz=1C1BNSD_ruMD1153MD1153&oq=substantele+chimice+si+sanatatea&aqs=chrome..69i57j33i160.12653j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8. [Accesate 24.07.25] .
4. https://osha.europa.eu/ro/themes/dangerous-substances. [Accesate 20.07.25].
5. https://www.eea.europa.eu/ro/articles/substantele-chimice-in-europa-intelegerea. [Accesate 20.07.25].
6. https://stiintasitehnica.com/substante-chimice-periculoase-pentru-sanatatea-umana/. [Accesate 25.07.25].
7. https://noi.md/md/sanatate/peste-50-de-noi-substante-chimice-din-mediul-inconjurator-detectate-in-corpul-uman . [Accesate 20.07.25].
8. Agenția Națională pentru Sănătate Publică
9. Biroul Național de Statistică din Republica Moldova https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/30%20Statistica%20sociala/30%20Statistica%20sociala__08%20SAN__SAN020/?rxid=2345d98a-890b-4459-bb1f-9b565f99b3b9. [Accesate 25.07.25].

N.B. *Articolul a fost scris în cadrul subproiectului ,,Modelarea biomonitoringului uman ca instrument prioritar în gestionarea riscurilor chimice" (Codul: 130101).*

ПОЛУЧЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ КЛАССА 2H-ХРОМЕНА КЕТАЛИЗАЦИЕЙ 1,2,4-ТРИАЗОЛИЛЭТАНОНОВ

PREPARATION OF AROMATIC DERIVATIVES OF 2H-CHROMENE CLASS BY KETALIZATION OF 1,2,4-TRIAZOLYLETHANONES

CZU: 544.142.3:547.576 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.100**

Марина ЧАБАНОВА
ORCID: 0009-0009-2044-5975
E-mail: marina.zveaghinteva@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Евгения СТЫНГАЧ
ORCID: 0000-0003-0731-3424
E-mail: eugenia.stingaci@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Флюр МАКАЕВ
ORCID: 0000-0002-3094-1990
E-mail: fliur.macaev@sti.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *In this work the peculiarities of the ketalization reaction of aromatic 1,2,4-triazolylethanones under conditions of aldol-croton condensation with the participation of salicylic aldehyde derivatives with substituents in the third and fifth positions are considered. In the framework of this work it was found that the presence of an ortho-para orientant in the benzene ring of the initial aldehyde increases the basicity of the hydroxyl group, which contributes to the closure of the six-membered oxygen-containing cycle, as well as the presence of an electron-acceptor group in the initial triazolyl ketone also contributes to the formation кетализация,: 1,2,4-triazole and 2H-chromene, forming the central part of many biologically active natural products as well as synthetic therapeutic agents. The structure of the obtained compounds was confirmed by spectral data and elemental analysis.*

Keywords: *aldol-crotonic condensation, salicylic aldehyde, 1H-1,2,4-triazole, biological activity.*

ВВЕДЕНИЕ

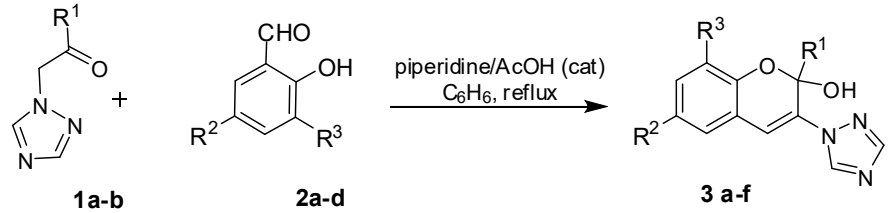
Известно, что в последние годы производные 1,2,4-триазола широко используются как в медицинской практике в качестве противогрибковых (флуконазол, итраконазол, терконазол, позаконазол, вориконазол), противовирусных (рибави-

рин), противоопухолевых (анастрозол, летрозол), психоактивных (алпразолам, триазолам, эстазолам и другие) препаратов [1-5], так и в сельском хозяйстве как системные фунгициды (тебуконазол, диниконазол и т.д.) и росторегулирующие соединения [6]. Триазольные производные отличаются высокой активностью при низкой концентрации и хорошей растворимостью. Особый интерес представляют соединения содержащие в своем составе фрагменты нескольких классов с потенциальной биологической активностью [8-12]. Поэтому поиск новых соединений является оправданным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как сообщалось ранее в условиях альдольно кротоновой конденсации с участием алкил-, арил-триазолилкетонов и ароматических альдегидов протекает с образованием замещенных *N*-винил-1.2.4-триазолов, которые проявляют широкий спектр противогрибковой активности [14]. В тех же условиях замена ароматических альдегидов на производные салицилового альдегида приводит к формированию циклических соединений -хроментриазолов [15]. При этом образующийся *N*-винил-1.2.4-триазол подвергается кетализации с образованием полукеталя.

Было отмечено, что наличие орто-пара ориентантов в молекуле исходного альдегида положительно влияло на формирование (замыканию) цикла, как и наличие электроноакцепторного заместителя такого как хлор в исходном 1-(2,4-дихлорфенил)-2-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)этанон **1a** приводило к получению циклического продукта согласно схеме.



1a-b **2a-d** **3 a-f**

1a R^1=2,4-diClC_6H_3
1c R^1=Ph

2a R^2=H, R^3=Me
2b R^2=H, R^3=Me
2c R^2=O-Me, R^3=H
2d R^2=Br, R^3=H

3a R^1= 2,4-diClC_6H_3, R^2=Me, R^3=H, 75%
3b R^1= 2,4-diClC_6H_3, R^2=H, R^3=Me, 99%
3c R^1=Ph, R^2=O-Me, R^3=H, 60%
3d R^1=Ph, R^2=H, R^3=Me, 60%
3e R^1=2,4-diClC_6H_3, R^2=O-Me, R^3=H, 75%;
3f R^1=2,4-diClC_6H_3, R^2=Br, R^3=H, 89%;

Схема реакции кетализации с участием производных салицилового альдегида.

Структура полученных продуктов **3a-f** установлена на основании спектральных данных. Так в ИК-спектре присутствуют интенсивные полосы ⌇(C=N) при 1586-1589 $см^{-1}$ ⌇(OH), при 1227-1238, при 1093-1098 $см^{-1}$ ™(-CH-N) триазольного цикла. В спектре ПМР характерно наличие триазольных синглетов при δ_H 7,5-8,5

м.д., синглетнрого сигнала гидроксила при δ_H 8-9 м.д.Отличительной особенностью спектра ЯМР ^{13}C является наличие четвертичного углерода при гидроксильной группе при δ_C 95-100 м.д. и сигнала углеродного атома связанного с кислородом шестичленного цикла при – 150-155 м.д..

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Температуры плавления определяли на нагревательном столике Boetius. ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре Perkin Elmer Spectrum100 FT-IR. Спектры ЯМР ^1H, ^{13}C записывали на спектрометре Avance III Bruker 400 (400, 100 МГц). Отнесение сигналов в спектрах ЯМР ^{13}C проводили при помощи экспериментов $^1H/^{13}C$ DEPT, $^1H/^1H$ COSY - 45, $^1H/^{13}C$ HMQC,$^1H/^{13}C$ HMBCи$^1H/^1H$ NOESY. Контроль за ходом реакций осуществляли методом ТСХ на пластинках Silufol, проявление – парами I_2. Для выделения продуктов реакций применяли колоночную хроматографию на силикагеле Fluka-60. Данные элементного анализа всех соединений отвечали вычисленным.

Общая методика синтеза 2*H*-хроменолов.

К раствору, содержащему (0,01 моль) триазолил кетона и (0,011моль) салицилового альдегида или его производного, в 30 мл бензола добавляют смесь пиперидина/уксусной кислоты в каталитических количествах (0,043 г.(0,0005моль): 0,105 г.(0,0017моль)). Смесь кипятят в течение 5-20ч (контроль ТСХ) с азеотропной отгонкой образующейся воды (насадка Дина-Старка), охлаждают до комнатной температуры, промывают органический слой водой, отделяют и сушат Na_2SO_4. Растворитель отгоняют, остаток кристаллизуют [15].

2-(2,4-Дихлорфенил)-6-метил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ол 3a.

Выход: 75%. Светло желтые кристаллы (этанол), т. пл. 176-178°C. ИК-спектр (ν, $см^{-1}$): 3673, 2987, 2902, 1662, 1611, 1586, 1492, 1379, 1279, 1259, 1238, 1136, 1093, 1027, 973, 901, 869, 828, 779, 670. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д., J/ Гц) 8.78 с(1H), 8.46 с(1H), 8.04 д(1H, *J*= 9.1), 7.96 с(1H), 7.48 с(1H), 7.47 дд(1H, *J*= 6.2, 2.3), 7.27 с(2H), 7.14 дд(1H, *J*= 8.3, 2.2), 6.89 д(1H, *J*= 8.2), 2.30 с(3H). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц , ДМСО-d_6, δ, м.д.) 152.05, 148.66, 144.32, 137.10, 134.82, 133.92, 131.35, 131.22, 131.06, 130.35, 129.31, 128.49, 127.13, 119.39, 118.58, 116.11, 95.58, 20.61. Вычислено, %: C, 57.77; H, 3.50; Cl, 18.95; N, 11.23; O, 8.55. $C_{18}H_{13}Cl_2N_3O_2$. Получено, %: C, 57.28; H, 3.15; N, 10.84.

2-(2,4-Дихлорфенил)-8-метил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2H-хромен-2-ол 3b.

Выход: 99%. Белые кристаллы (этанол), т. пл. 120-121°C. ИК-спектр (ν/$см^{-1}$): 3602, 3119, 2967, 2880, 1589, 1508, 1468, 1440, 1379, 1278, 1232, 1207, 1098, 1025, 1027, 998, 976, 883, 802, 779, 645, 672. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д.,

J/ Гц) 8.74 с(1H), 8.46с (1H), 8.05д(1H, *J*= 8.0), 7.95 д(1H, *J*= 2.9), 7.48 дд(1H, *J*= 8.6, 2.0), 7.30 кв(2H, *J*= 3.9, 2.9), 7.21 д(1H, *J*= 7.4), 6.98 т(1H, 7.5), 2.13 с(3H). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц , ДМСО-d_6, δ, м.д.) 152.03, 148.81, 144.34, 137.18, 134.83, 134.02, 132.05, 131.34, 130.42, 128.98, 127.11, 126.18, 125.06, 121.71, 119.78, 118.33, 95.73, 15.64. Вычислено, %: C, 57.77; H, 3.50; Cl, 18.95; N, 11.23; O, 8.55. $C_{18}H_{13}Cl_2N_3O_2$. Получено, %: C, 57.28; H, 3.09; N, 10.87.

6-Метокси-2-фенил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ол 3c.

Выход 60%. Кристаллы белого цвета (этанол), т. пл. 129-131 °C. ИК-спектр (ν/см$^{-1}$): 3605, 3108, 2933, 1514, 1491, 1449, 1276, 1269, 1232, 1129, 1206, 1147, 1040, 1019, 962, 892, 771, 674. Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д., J/ Гц) 8.58 с(1H,OH), 8.32 с(1H), 8.00 с(1H), 7.50 дд(2H, *J*= 7.8, 2.0), 7.34(с, 1H), 7.31 д(3H, *J*= 1.7), 7.09 т(1H, *J*= 1.7), 6.87 д(2H, *J*= 1.7), 3.74 с(3H). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц , ДМСО-d_6, δ, м.д.) 154.42, 151.89, 144.52, 143.95, 141.22, 131.58, 129.24, 128.54, 126.44, 119.42, 118.28, 116.93, 116.63, 112.49, 97.62, 56.04. Вычислено, %: C, 67.28; H, 4.71; N, 13.08; O, 14.94. $C_{18}H_{15}N_3O_3$. Получено, %: C, 66.78; H, 4.39; N, 12.58.

8-Метил-2-фенил-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ол 3d.

Выход: 60%, т. пл. 189-191°C. Кристаллы белого цвета (метанол). ИК-спектр (ν/см$^{-1}$): 3189, 3110, 2990, 1507, 1467, 1452, 1439, 1383, 1227, 1244, 1200, 1116, 1105,957, 917, 884,782, 762, 670. Спектр ЯМР 1H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д., J/ Гц) 8.61 с(1H, OH), 8.36 с(1H), 8.00 с(1H), 7.57 – 7.48м (2H), 7.38 – 7.24 м(5H), 7.17 д(1H, *J*= 7.4), 6.94 т(1H, *J*= 7.5), 2.13 с(3H). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д.) δ 151.82, 148.76, 144.02, 141.47, 132.04, 130.85, 129.23, 128.53, 126.43, 126.01, 124.91, 121.68, 118.73, 118.46, 97.94, 15.73. Вычислено, %: C, 70.81; H, 4.95; N, 13.76; O, 10.48. $C_{18}H_{15}N_3O_2$. Получено, %: C, 70.421; H, 4.57; N, 13.38%.

2-(2,4-дихлорфенил)-6-метокси-3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ол 3e.

Выход: 75%, т. пл. 178-180°C. Кристаллы белого цвета (метанол). ИК-спектр (ν/см$^{-1}$): 3605, 3108, 2933, 1514, 1491, 1449, 1276, 1269, 1232, 1129, 1206, 1147, 1040, 1019, 962, 892, 771, 674

Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д., J/ Гц) δ 8.77 с(1H), 8.46 с(1H), 8.06 д(1H, *J*= 9.1), 7.97 с(1H), 7.48 дк(2H, *J* = 4.4, 2.2), 7.30 с(1H), 7.10 д(1H, *J* = 2.7), 6.98 – 6.88 м(1H), 3.77 с(3H). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д.) δ 154.49, 152.10, 144.65, 144.29, 137.13, 134.83, 133.90, 131.25, 130.36, 129.93, 127.15, 119.34, 119.16, 117.12, 116.79, 112.45, 95.49, 56.05. Вычислено, %: C, 55.40; H, 3.36; N, 10.77; O, 12.30. $C_{18}H_{13}Cl_2N_3O_2$. Получено, %: C, 55.07; H, 3.11; N, 10.38%.

6-Бромо-2-(2,4-дихлорфенил))- 3-(1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)-2*H*-хромен-2-ол 3f.

Выход: 89%, т. пл. 193-195 °C. Кристаллы белого цвета (метанол). ИК-спектр (ν/см$^{-1}$): 3113, 3082, 2989, 1660, 1584, 1480, 1341, 1259, 1250, 1129, 1088, 999, 898,

825, 784, 677, 663. Спектр ЯМР ^{1}H (400 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д., J/ Гц) δ 9.16 с(1H), 8.49 – 8.46 м(1H), 8.05 – 7.97 м(1H), 7.93 с(1H), 7.66 д(1H, *J*= 2.6), 7.44 дт(2H, *J*= 9.2, 2.6), 7.33 с(1H), 7.28 с(1H), 6.93 с(1H, *J* = 8.7). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц, ДМСО-d_6, δ, м.д.) δ 151.96, 149.82, 144.42, 136.33, 135.26, 133.70, 133.30, 131.12, 130.47, 130.37, 130.04, 127.27, 120.89, 118.59, 113.59, 95.74. Вычислено, %: C, 46.50; H, 2.30; N, 9.57; O, 12.30. $C_{17}H_{10}BrN_3O_2$. Получено, %: C, 46.10; H, 2.07; N, 9.38%.

ВЫВОДЫ

Предложен новый метод синтеза замещенных хроментриазолов взаимодействием арилзамещённых (1*H*-1,2,4-триазол-1-ил)этан-2-онов с салициловыми альдегидами в условиях альдольно-кротоновой конденсации. Показано, что характер образующихся продуктов реакции зависит как от природы заместителя исходных триазолилэтанонов, так и от заместителя салицилового альдегида.

Работа выполнена в рамках проекта “Chemical study of secondary metabolites from local natural sources and valorization of their application potential basing on broadening molecular diversity with multiple functionality (MetNatVal)”), № 010601,

ЛИТЕРАТУРА:

1. STRZELECKA, M., SWIATEK, P. 1,2,4-Triazoles as important antibacterial agents. In: *Pharmaceuticals*. 2021, nr. 14(3), pp. 224. ISSN: 1424-8247.
2. RODRIGUES S. et al. A Review on Chemistry and Methods of Synthesis of 1,2,4-Triazole Derivatives. In: *The chemical record.* 2024, nr. 25(1), e202400190. ISSN:1527-8999.
3. SHARMA, V et al. Recent advancement in the discovery and development of cox-2 inhibitors: insight into biological activities and sar studies (2008–2019). In: *Bioorganic Chemistry.* 2019, nr. 89, pp.103007. ISSN: 0045-2068.
4. JHA, M. et al.. Recent advancement in the discovery and development of anti-epileptic biomolecules: an insight into structure activity relationship and docking. In: *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020, nr. 153, pp. 105494. ISSN: 0928-0987.
5. SAVELIEFF, M.G., NAM, G., KANG, J., LEE, H.J., LEE, M., LIM, M.H. Development of multifunctional molecules as potential therapeutic candidates for alzheimer’s disease, parkinson’s disease, and amyotrophic lateral sclerosis in the last decade. In: *Chemical Reviews.* 2019, nr. 119(2), pp. 1221-1322. ISSN: 0009-2665.
6. GUANGRONG C. GUANQIANG Z., DIANFENG Z, NAIJIE F. Synthesis and Biological Evaluation of 3,3-Dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazole-1-yl)butan-2-One Derivatives as Plant Growth Regulators. In: *Chem. Res. Chinese Universities*, 2019, 35(2), 221-228.

7. MAKAR, S., SAHA, T., SINGH, S.K. Naphthalene, a versatile platform in medicinal chemistry: sky-high perspective. In: *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2019, nr.161, pp.252-276. ISSN: 0223-5234.
8. BALBHEEN J. at al. Design, synthesis and biological evaluation of chromene-oxadiazole amide hybrids with phenolic acids. In: *Journal of Molecular Structure*. 1332(2):141700, ISSN: 0022-2860.
9. MASHHADINEZHAD, M., MAMAGHANI, M., RASSA, M., SHIRINI, F. A Facile green synthesis of chromene derivatives as antioxidant and antibacterial agents through a modified natural soil. In: *Chemistry Select*. 2019, nr. 4, pp. 4920-4932. ISSN: 1618-2642.
10. GANDHI, D. et al. Synthesis, characterization and evaluation of novel benzothiazole clubbed chromene derivatives for their anti-inflammatory potential. In: *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2018, nr. 193(12), pp. 840–847. ISSN: 1042-6507.
11. CHOUGALA, N. M. et al .Green, unexpected synthesis of bis-coumarin derivatives as potent anti-bacterial and anti-inflammatory agents. In: *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018, nr. 143, pp. 1744-1756. ISSN: 0223-5234.
12. FOUAD, S. A. et al. Synthesis of chromen-2-one, pyrano[3,4-c]chromene and pyridino [3,4-c] chromene derivatives as potent antimicrobial agents. In: *Croatica Chemica Acta*. 2018, nr. 91(1), pp. 99–107. ISSN: 0011-1643.
13. GEORGAKI S., et al. Phenoxodiol, an anticancer isoflavene, induces immunomodulatory effects *in vitro* and *in vivo.* In*: Journal of Cellular and Molecular Medicine.* 2009, 13(9b):3929–3938. ISSN- 1582-1838.
14. STINGACI Eet al. New vinyl-1,2,4-triazole derivatives as antimicrobial agents: Synthesis, biological evaluation and molecular docking studies. In: *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2020, nr. 30(17), pp. 127368. ISSN: 0960-894X.
15. ZVEAGHINTSEVA, M. et al. Chromenols derivatives as novel antifungal agents. synthesis, in silico and *in vitro* evaluation biological evaluation and molecular docking. In: *Molecules*, 2021, nr. 26(14), pp. 4304. (IF: 4.411). ISSN 1420-3049 (Online).

METODA B-SPLINE COLOCAȚIEI PENTRU ECUAȚII INTEGRALE FREDHOLM CU MEMBRUL DREPT DISCONTINUU

B-SPLINE COLLOCATION METHOD FOR FREDHOLM INTEGRAL EQUATIONS WITH DISCONTINUOUS RIGHT-HAND SIDE

CZU: 517.968.2:519.642.4 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.101**

Maria CAPCELEA
ORCID: 0009-0009-3321-3946
E-mail: maria.capcelea@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Titu CAPCELEA
ORCID: 0009-0002-7178-9291
E-mail: titu.capcelea@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *In this paper, we propose a numerical method for approximating solutions to linear Fredholm integral equations of the second kind, defined on a closed contour in the complex plane. The right-hand side is a piecewise continuous function given numerically at a finite set of points on the contour. The approximation is constructed using a linear combination of B-spline functions and Heaviside step functions defined on the same domain. We analyze both the theoretical and practical aspects of the method's pointwise convergence, with particular attention to its behavior near discontinuity points.*

Keywords: *Fredholm integral equation, discontinuous right-hand side, B-spline functions, computational scheme.*

INTRODUCERE ȘI FORMULAREA PROBLEMEI

Fie conturul închis și neted pe porțiuni Γ mărginește domeniul simplu conex $\Omega^+ \subset C$, iar punctul $z = 0 \in \Omega^+$. Fie $z = \psi(w)$ funcția Riemann ce realizează transformarea conformă a exteriorului D^- al cercului unitate $\Gamma_0 := \{w \in C : |w| = 1\}$ pe exteriorul Ω^- al lui Γ astfel încât $\psi(\infty) = \infty, \psi'(\infty) > 0$. Funcția $\psi(w)$ aplică cercul Γ_0 pe conturul Γ. În continuare, vom considera că punctele conturului Γ sunt definite prin intermediul funcției date $\psi(w)$.

Fie $f : \Gamma \to C$ o funcție continuă sau continuă pe porțiuni pe Γ, iar în acest sens

vom folosi notația $f \in PC(\Gamma)$. În cazul în care funcția $f \in PC(\Gamma)$ este discontinuă pe Γ, vom considera că aceasta este continuă la stânga în punctele de discontinuitate.

Să considerăm ecuația integrală Fredholm de speța doi definită pe conturul Γ.

$$\varphi(t) - \lambda \int_{\Gamma} K(t,s)\varphi(s)ds = f(t), t \in \Gamma, \quad (1)$$

Funcția nucleu este continuă în ambele variabile, $K \in C(\Gamma \times \Gamma)$, membrul drept $f \in PC(\Gamma)$, iar constanta $\lambda \in C$ satisface condiția suficientă pentru ca ecuația (1) să admită o singură soluție $\varphi \in PC(\Gamma)$.

În condițiile în care membrul drept f este definit numeric pe mulțimea de puncte $\{t_j\}$ ale conturului Γ, se pune problema de a elabora un algoritm numeric de calcul al unui șir de aproximații φ_n ale soluției φ, care să conveargă aproape uniform către φ pe Γ, atunci când $n \to \infty$. Aceasta înseamnă că șirul de aproximații va converge uniform în toate punctele conturului Γ, cu excepția punctelor de discontinuitate, în care convergența este punctuală.

Anumite rezultate numerice indică faptul că efectul oscilatoriu al aproximațiilor polinomiale în vecinătatea punctelor de discontinuitate este diminuat progresiv, conducând la convergență punctuală chiar și în apropierea acestor puncte, în cazul în care aproximația funcției φ este realizată ca o combinație liniară de funcții B-spline [1]. Totuși, se impune construirea unei aproximații continue pe porțiuni pentru soluția ecuației (1).

Fie $\{t_j\}_{j=1}^{n_B}$ mulțimea de puncte distincte ale conturului Γ în care sunt cunoscute valorile funcției $f \in PC(\Gamma)$. Vom considera că punctele t_j sunt generate în baza relației

$$t_j = \psi(w_j), w_j = e^{i\theta_j}, \theta_j = \frac{2\pi(j-1)}{n_B}, j = 1, \dots, n_B.$$

Vom nota prin $\Gamma_j := arc[t_j, t_{j+1}]$ mulțimea de puncte ale conturului Γ, situate între punctele t_j și t_{i+1}. La fel, pentru funcția $f(t)$ vom considera date punctele de discontinuitate $t_r^d, r = 1, \dots, n_{pd}$ și valorile funcției $f(t_r^d)$ în aceste puncte. În lucrarea [2] au fost elaborați algoritmi de localizare a punctelor de discontinuitate a funcției $f(t)$, în baza valorilor acesteia în puncte de pe conturul Γ.

SCHEMA DE CALCUL A SOLUȚIEI APROXIMATIVE A ECUAȚIEI INTEGRALE

Algoritmul de aproximare a soluției φ a ecuației (1), pe care îl propunem, are la bază conceptul de funcții B-spline de ordinul $m \geq 2$, definite în punctele t_j ale conturului Γ, în baza formulei recursive

$$B_{m,j}(t) := \frac{m}{m-1}\left(\frac{t-t_j^B}{t_{j+m}^B-t_j^B}B_{m-1,j}(t) + \frac{t_{j+m}^B-t}{t_{j+m}^B-t_j^B}B_{m-1,j+1}(t)\right), j = 1,\dots,n_B, \quad (2)$$

unde $B_{1,j}(t) = \{\frac{1}{t_{j+1}^B-t_j^B}\, dacă\ t \in arc t_j^B, t_{j+1}^B)\ 0$, iar mulțimea de noduri $\{t_j^B\}_{j=1}^{n_B+m}$ satisface condițiile $t_j^B = t_j, j = 1,\dots,n_B, t_{n_B+1}^B = t_1^B, t_{n_B+2}^B = t_2^B, \dots, t_{n_B+m}^B = t_m^B$

(a se vedea [1]). Pentru $m \geq 2$ fixat funcțiile B-spline (2) admit reprezentare explicită [1].

În raport cu punctele de discontinuitate $t_r^d, r = 1,\dots,n_{pd}$, definim funcția treaptă Heaviside H pe conturul Γ:

$$H(t-t_r^d) := \{0, dacă\ t \in \Gamma_1 \cup \dots \cup \Gamma_{s-1} \cup arc t_s^B, t_r^d)\ 1, dacă\ t \in arc t_r^d, t_{s+1}^B) \cup \square_{s+1} \cup \dots \cup \Gamma_{n_B},$$

$$\Gamma_s = arc[t_s^B, t_{s+1}^B], t_r^d \in \Gamma_s.$$

Ținând cont că soluția φ a ecuației (1) admite discontinuități de speța întâi pe conturul Γ, iar combinația liniară de funcții B-spline generează o curbă continuă, vom căuta aproximația soluției φ a ecuației (1) sub forma

$$\varphi_{n_B}^H(t) := \sum_{k=1}^{n_B} \alpha_k B_{m,k}(t) + \sum_{r=1}^{n_{pd}} \beta_r H(t-t_r^d), \quad (3)$$

în care coeficienții $\alpha_k \in \square, k = 1,\dots,n_B$ și $\beta_r \in C, r = 1,\dots,n_{pd}$ se determină, impunând condițiile de interpolare

$$\varphi_{n_B}^H(t_j^C) - \lambda \int_\Gamma K(t_j^C, s)\varphi_{n_B}^H(s)ds = f(t_j^C), j = 1,\dots,n, \quad (4)$$

unde $n := n_B + n_{pd}$, iar în calitate de puncte de interpolare $t_j^C, j = 1,\dots,n$ se aleg următoarele elemente ale mulțimii de noduri ale B-spline-ului:

- primele n_B puncte $t_j^C, j = 1,\dots,n_B$ sunt punctele $t_j^B = t_j, j = 1,\dots,n_B$;
- restul n_{pd} puncte $t_j^C, j = n_B+1,\dots,n$ sunt punctele de discontinuitate $t_r^d, r = 1,\dots,n_{pd}$ ale funcției f.

Dacă printre punctele $t_j^C, j = 1,\dots,n_B$ sunt puncte de discontinuitate $t_i^d = \psi\left(e^{i\theta_j^d}\right)$ a lui f pe Γ, atunci în loc de acestea se consideră punctele $\tilde{t}_j^d = \psi\left(e^{i\left(\theta_j^d-\varepsilon_2\right)}\right)$, unde ε_2 este o valoare mică, de exemplu, $\varepsilon_2 = 0.01$. Funcția fiind continuă la stânga, pentru ε_2 suficient de mic, se poate considera că valoarea funcției f în punctul $\tilde{t}_j^d$ coincide cu valoarea acesteia în punctul t_j^d.

Ținând cont de reprezentarea

$$\int_{\Gamma} K(t,s)\varphi_{n_B}^{H}(s)ds = \int_{\Gamma} K(t,s)\left(\sum_{k=1}^{n_B} \alpha_k B_{m,k}(s) + \sum_{r=1}^{n_{pd}} \beta_r H(s-t_r^d)\right)ds =$$

$$= \sum_{k=1}^{n_B} \alpha_k I_k^{1,m}(t) + \sum_{r=1}^{n_{pd}} \beta_r I_r^2(t),$$

unde $I_k^{1,m}(t) := \int_{\Gamma} K(t,s)B_{m,k}(s)ds, I_r^2(t) := \int_{\Gamma} K(t,s)H(s-t_r^d)ds$, putem scrie condițiile de interpolare (4) sub forma

$$\sum_{k=1}^{n_B} \left(B_{m,k}(t_j^C) - \lambda I_k^{1,m}(t_j^C)\right)\alpha_k + \sum_{r=1}^{n_{pd}} \left(H(t_j^C - t_r^d) - \lambda I_r^2(t_j^C)\right)\beta_r = f(t_j^C), j = 1,\dots,n, \quad (5)$$

sau în formă matriceală $B\bar{x} = \bar{f}$, unde

$$B = \{m_{j,k}\}_{j,k=1}^{n}, m_{j,k} := B_{m,k}(t_j^C) - \lambda I_k^{1,m}(t_j^C), j = 1,\dots,n, k = 1,\dots,n_B,$$

$$m_{j,k} := H(t_j^C - t_r^d) - \lambda I_r^2(t_j^C), j = 1,\dots,n, k = n_B+1,\dots,n,$$

$$\bar{x} = \left(\alpha_1,\dots,\alpha_{n_B},\beta_1,\dots,\beta_{n_{pd}}\right)^T, \bar{f} = \left(f(t_1^C),\dots,f(t_n^C)\right)^T.$$

Dacă pentru $m = 2$ se consideră $t_i^C = t_{j+1}^B, j = 1,\dots,n_B$, iar pentru $m = 3$ și $m = 4$ se consideră $t_j^C = t_{j+2}^B, j = 1,\dots,n_B$, atunci elementele matricei B pot fi calculate astfel:

$$B = B_1 - \lambda B_2, \quad (6)$$

unde proprietățile matricei au fost examinate în lucrarea [1], iar elementele matricei

$B_1 =$

$\left(B_{m,1}(t_1^C) \cdots B_{m,n_B}(t_1^C)\, H(t_1^C - t_1^d) \cdots H\left(t_1^C - t_{n_{pd}}^d\right) \vdots \ddots \vdots \vdots \ddots \vdots\, B_{m,1}(t_n^C) \cdots B_{m,n_B}(t_n^C)\, H(t_n^C - t_1^d) \cdots H\left(t_n^C - t_{n_{pd}}^d\right)\right)$

au fost examinate în lucrarea [1], iar elementele matricei

$$B_2 = \left(I_1^{1,m}(t_1^C) \cdots I_{n_B}^{1,m}(t_1^C)\, I_1^2(t_1^C) \cdots I_{n_{pd}}^2(t_1^C) \vdots \ddots \vdots \vdots \ddots \right.$$
$$\left. \vdots\, I_1^{1,m}(t_n^C) \cdots I_{n_B}^{1,m}(t_n^C)\, I_1^2(t_n^C) \cdots I_{n_{pd}}^2(t_n^C)\right)$$

pot fi determinate în modul următor:

Pentru elementele $I_k^{1,m}(t_j^C), j = 1,\dots,n, k = 1,\dots,n_B$, au loc relațiile:

$$I_k^{1,m}(t_j^C) = \int_{\Gamma} K(t_j^C,s)B_{m,k}(s)ds = \int_{arc[t_k^B,t_{k+m}^B]} K(t_j^C,s)B_{m,k}(s)ds =$$

$$\sum_{r=1}^{m} \int_{arc[t_{k+r-1}^B, t_{k+r}^B]} K(t_j^C, s) p_k^{(r)}(s) ds = \sum_{r=1}^{m} \int_{\theta_{k+r-1}^B}^{\theta_{k+r}^B} g_{j,k}^r(\theta) d\theta$$

unde $g_{j,k}^r := K\left(t_j^C, \psi\left(e^{i\theta}\right)\right) p_k^{(r)}\left(\psi\left(e^{i\theta}\right)\right) \psi'\left(e^{i\theta}\right) i e^{i\theta}$, iar $p_k^{(r)}(s)$ sunt ramurile funcției B-spline $B_{m,k}(s)$ de ordinul corespunzător mm. De exemplu, pentru $m = 4$ avem:

$$p_k^{(1)}(s) = \frac{4\left(s - t_k^B\right)^3}{(t_{k+4}^B - t_k^B)(t_{k+3}^B - t_k^B)(t_{k+2}^B - t_k^B)(t_{k+1}^B - t_k^B)}, \; p_k^{(2)}(s) = 4(I_1 + I_2),$$

unde

$$I_1 := \frac{s - t_k^B}{t_{k+4}^B - t_k^B}\left(\frac{(s - t_k^B)(t_{k+2}^B - s)}{(t_{k+3}^B - t_k^B)(t_{k+2}^B - t_k^B)(t_{k+2}^B - t_{k+1}^B)} + \frac{(s - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - s)}{(t_{k+3}^B - t_k^B)(t_{k+3}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+2}^B - t_{k+1}^B)}\right),$$

$$I_2 := \frac{(t_{k+4}^B - s)(s - t_{k+1}^B)^2}{(t_{k+4}^B - t_k^B)(t_{k+4}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+2}^B - t_{k+1}^B)}, \; p_k^{(3)}(s) = 4(I_3 + I_4),$$

unde

$$I_3 := \frac{(t_{k+3}^B - s)^2 (s - t_k^B)}{(t_{k+4}^B - t_k^B)(t_{k+3}^B - t_k^B)(t_{k+3}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - t_{k+2}^B)},$$

$$I_4 := \frac{t_{k+4}^B - s}{t_{k+4}^B - t_k^B}\left(\frac{(s - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - s)}{(t_{k+4}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+3}^B - t_{k+2}^B)} + \frac{(s - t_{k+2}^B)(t_{k+4}^B - s)}{(t_{k+4}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+4}^B - t_{k+2}^B)(t_{k+3}^B - t_{k+2}^B)}\right),$$

$$p_k^{(4)}(s) = \frac{4\left(t_{k+4}^B - s\right)^3}{(t_{k+4}^B - t_k^B)(t_{k+4}^B - t_{k+1}^B)(t_{k+4}^B - t_{k+2}^B)(t_{k+4}^B - t_{k+3}^B)}.$$

Integralele $\int_{\theta_{k+r-1}^B}^{\theta_{k+r}^B} g_{j,k}^r(\theta) d\theta$ se vor aproxima conform formulei generalizate a trapezelor, care este valabilă și pentru funcții cu valori complexe:

$$I := \int_{\theta_{in}}^{\theta_f} g(\theta) d\theta \approx I_N := h\left(0.5\left(g(\theta_{in}) + g\left(\theta_f\right)\right) + \sum_{j=1}^{N-1} g(\theta_{in} + jh)\right),$$

$$h := \frac{(\theta_f - \theta_{in})}{N}. \tag{7}$$

Pentru valori $N \to \infty$ în lucrarea [3] este arătat că $I_N \to I$ cu viteza unei progresii geometrice.

Pentru elementele $I_r^2\left(t_j^C\right), j = 1, \ldots, n, r = 1, \ldots, n_{pd}$, au loc relațiile:

$$I_r^2\left(t_j^C\right) = \int_\Gamma K\left(t_j^C, s\right) H(s - t_r^d) ds = \int_{arc[t_r^d, \psi(1)]} K\left(t_j^C, s\right) ds = \int_{\theta_r^d}^{2\pi} q_j(\theta) d\theta,$$

unde $q_j(\theta) := K\left(t_j^C, \psi\left(e^{i\theta}\right)\right) \psi'\left(e^{i\theta}\right) i e^{i\theta}$. Analog, integralele $\int_{\theta_r^d}^{2\pi} q_j(\theta) d\theta$ se

vor aproxima conform formulei generalizate a trapezelor (7).

De menționat, că funcțiile $g_{j,k}^{r}(\theta)$ și $q_j(\theta)$ nu depind de funcția $f(t)$ și, prin urmare, este posibilă evaluarea acestora în orice punct $\theta \in [0,2\pi]$ și, respectiv, aproximarea integralelor $I_k^{1,m}(t_j^C)$ și $I_r^2(t_j^C)$.

DESPRE CONVERGENȚA ALGORITMULUI ȘI UN EXEMPLU NUMERIC

După ce se determină soluția $\alpha_k, k = 1,\dots,n_B$, $\beta_r, r = 1,\dots,n_{pd}$ a sistemului (5), construim aproximația (3) a funcției $\varphi(t)$ și calculăm valorile acesteia în punctele $t \in \Gamma$. În lucrarea [4] a fost argumentată convergența aproape uniformă a șirului de aproximații $\varphi_{n_B}^H$ de forma (3) către funcția aproximată $\varphi \in PC(\Gamma)$, atunci când $n_B \to \infty$.

Exemplu numeric. Funcția Riemann $z = \psi(w)$ ce realizează transformarea conformă a mulțimii $\{w \in C: |w| > 1\}$ pe domeniul Ω^- din exteriorul conturului Γ este $\psi(w) = w + \frac{1}{(3w^3)}$. Astfel, $\psi(w)$ aplică cercul Γ_0 pe astroida Γ (a se vedea Figura 1).

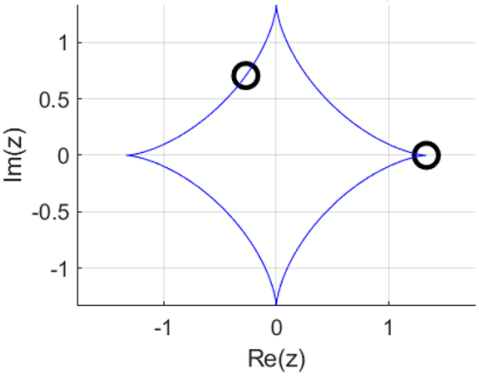


Figura 1. *Conturul și punctele de discontinuitate*

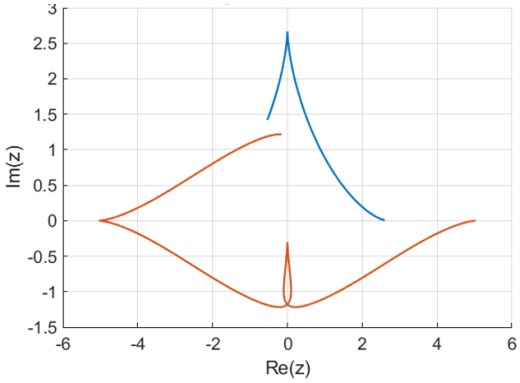


Figura 2. *Graficul soluției*

Pentru testarea algoritmului vom considera în ecuația integrală (1) funcția nucleu $K(t,s) = t^2 + s^2$, constanta $\lambda = 0.5$ și membrul drept $f(t)$ definit analitic pe Γ:

$f(t) = \{2t - \lambda u, dacă\ \theta \in 0, \theta_1^d\ t^3 + 2t - \lambda u, dacă\ \theta \in \theta_1^d, \theta_2^d\ t^3 + 2t - \lambda u, dacă\ \theta = 0$,

unde $\theta_1^d = 0.7\pi, \theta_2^d = 2\pi$, iar $u := (0.78148 - 0.081271i)t^2 + 0.91818 + 0.025237i$. Funcția f are $n_{pd} = 2$ puncte de discontinuitate de speța întâi pe Γ, $t_j^d = \psi\left(e^{i\theta_j^d}\right), j = 1,2$.

La fel, se știe soluția exactă $\varphi \in PC(\Gamma)$ a problemei test considerate:

$$\varphi(t) = \{2t, dacă\ \theta \in 0, \theta_1^d\ t^3 + 2t, dacă\ \theta \in \theta_1^d, \theta_2^d\ t^3 + 2t, dacă\ \theta = 0\ ,$$

care are două puncte de discontinuitate, aceleași ca și membrul drept f (a se vedea Figura 1 și Figura 2). Algoritmul de aproximare a soluției ecuației (1) preia ca date inițiale valorile f_j ale funcției f în punctele $t_j = \psi\left(e^{i\theta_j}\right) \in \Gamma, \theta_j = \frac{2\pi(j-1)}{n_B}, n_B \in N, k = 1, \ldots, n_B$. Se determină coeficienții aproximării soluției ecuației (1) sub forma unei combinații liniare de forma (3), în care se consideră funcții B-spline de ordinul $m = 4$, iar numărul de puncte în care este dată valoarea funcției f pe Γ este $n_B = 320$. Astfel, se determină soluția sistemului de ecuații $B\bar{x} = \bar{f}$, unde $\bar{x} = \left(\alpha_1, \ldots, \alpha_{n_B}, \beta_1, \ldots, \beta_{npd}\right)^T, \bar{f} = \left(f(t_1^c), \ldots, f(t_n^c)\right)^T$, $n = n_B + n_{pd}$, iar matricea B este de forma (6). Integralele $I_k^{1,m}\left(t_j^C\right)$ și $I_r^2\left(t_j^C\right)$ ce definesc matricea B, sunt aproximate conform formulei generalizate a trapezelor (7), în care parametrul $N = 200N = 200$.

În Figura 3 și Figura 4 este prezentată eroarea aproximării soluției φ prin $\varphi_{n_B}^H$, pentru valori $n_B = 160$ și $n_B = 320$. Se vede că maximul erorii descrește semnificativ pentru $n_B = 320$.

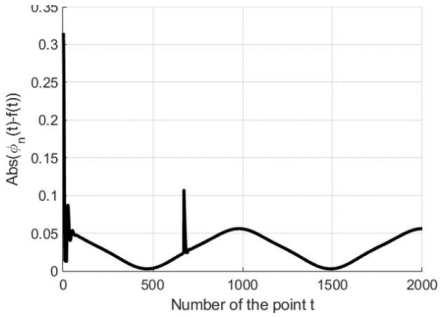


Figura 3. *Eroarea aproximării pentru* $n_B = 160$

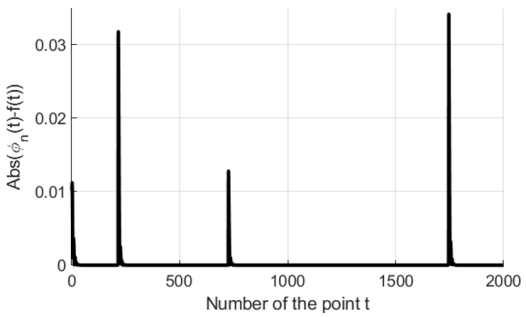


Figura 4. *Eroarea aproximării pentru* $n_B = 320$

CONCLUZIE

În această lucrare este prezentată o metodă numerică eficientă pentru rezolvarea ecuațiilor integrale Fredholm cu termenul din partea dreaptă o funcție continuă pe porțiuni, definită pe un contur închis, neted pe porțiuni din planul complex. Metoda construiește un șir de aproximații care converge aproape uniform către soluția exactă a ecuației integrale.

REFERINȚE:

1. M. CAPCELEA, T. CAPCELEA, B-spline approximation of discontinuous functions defined on a closed contour in the complex plane. În: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Matematica,* vol. 2, no. 99, pp. 59-67, 2022.
2. M. CAPCELEA, T. CAPCELEA, Localization of singular points of meromorphic functions based on interpolation by rational functions. În: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Matematica,* vols. 1-2, no. (95-96), pp. 110-120, 2021.
3. L. N. TREFETHEN, J. WEIDEMAN, The exponentially convergent trapezoidal rule. În: *SIAM Review,* vol. 56, no. 3, pp. 385-458, 2014.
4. M. CAPCELEA, T. CAPCELEA, B-spline collocation method for solving Fredholm integral equations with discontinuous right-hand side. În: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Matematica,* vol. 2, no. 102, pp. 92-101, 2023.

N.B. *Această lucrare reprezintă rezultatul activității de cercetare desfășurate în cadrul proiectului „011302 Metode analitice și numerice pentru rezolvarea problemelor decizionale dinamice stochastice”.*

EXPLORAREA ITEMILOR DE TIP POTRIVIRE CU RĂSPUNSURI SCURTE ALEATORII PE MOODLE

EXPLORING POTRIVIRE CU RĂSPUNSURI SCURTE ALEATORII ITEMS ON MOODLE

CZU: 37.016:377.36:004 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.102**

Dumitru IEȘEANU
ORCID: 0000-0003-2189-1466
e-mail: dumitruieseanu77@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republca Moldova

Tudor BRAGARU
ORCID: 0000-0001-6356-2906
E-mail: theosnume@gmail.com
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republca Moldova

Summary. *Digitalization is an imperative necessity in contemporary education. In this regard, the article explores the potential of Random Short Answer Matching items as effective means of automatic assessment in computer science teaching. This test format offers interactive assignments and immediate feedback, stimulating the development of students' logical thinking and digital skills. The study recommends integrating these e-assessment tools into technical vocational education in support of a sustainable digital transformation.*

Keywords*: e-learning platform Moodle, Random Short Answer Matching item, programming, e-testing.*

INTRODUCERE

Argument. Devine tot mai evident că întregul proces educațional are nevoie de o adaptare continuă la cerințele societății contemporane. Aceste cerințe includ: (1) dinamica accelerată a pieței muncii, care solicită formarea de competențe relevante și actuale; (2) dezvoltarea rapidă a tehnologiilor informaționale și de comunicații utilizate în educație; (3) orientările strategice din politicile naționale și internaționale privind dezvoltarea durabilă și transformarea digitală; (4) centrarea procesului de instruire pe nevoile elevului, ținând cont de specificul generațiilor de nativi digitali. Dacă înainte de anii 2000 principalele surse de învățare ale studenților erau cărțile din biblioteci, în prezent, datorită expansiunii Internetului, accesul la informație s-a extins semnificativ. Astfel, procesul educațional beneficiază de resurse educaționale online, biblioteci digitale, laboratoare virtuale și platforme open source de eLearning, care contribuie la o formare mai accesibilă, flexibilă și personalizată [1].

Învățarea continuă devine o misiune esențială pentru fiecare cetățean, în contextul

progresului rapid al tehnologiilor informaționale și comunicaționale (TIC) și al integrării acestora în toate domeniile vieții.

Integrarea tehnologiilor informaționale și de comunicare (TIC) în educație a revoluționat toate nivelurile și formele de învățământ, favorizând apariția unor metode moderne precum e-Learning, m-Learning și evaluarea digitală. În acest cadru, evaluarea devine un pilon esențial al procesului educațional, oferind feedback relevant și contribuind decisiv la dezvoltarea competențelor prin monitorizarea progresului și susținerea învățării continue [2].

e-Testarea are un impact semnificativ asupra învățării prin stimularea retenției pe termen lung, datorită consolidării și reactivării frecvente a cunoștințelor în timpul evaluării. Această eficiență este susținută de implicarea emoțională ridicată a elevilor în contexte de testare, care favorizează memorarea mai durabilă decât simpla parcurgere a conținutului [3].

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru justificarea principalelor teze și concluzii în prezenta lucrare a fost utilizat un mix de metode de cercetare, inclusiv:

- **Cercetarea bibliografică:** studiul publicațiilor științifice, a standardelor, cerințelor, reglementărilor și recomandărilor privind proprietățile fundamentale al itemilor și e-testelor, dezvoltarea și aplicarea în procesele educaționale a unor RED calitative.
- **Metodă experimentală:** modelarea unor itemi parametrizați, unici, standardizați pentru atingerea anumitor obiective educaționale, cu aplicarea lor nelimitată în spațiu și timp, de către orice număr de respondenți în cadrul aceluiași curriculum comun.
- **Sondaje de opinii:** analiza și prelucrarea datelor obținute în timpul experimentelor pentru a identifica modelele cele mai potrivite, a elabora recomandările aferente și a trage concluziile finale.
- **Analiză comparativă**: compararea diferitelor forme de itemi tradiționali (binari....) și parametrizați (în baza unor modele) în ceea ce privește aplicabilitatea.... utilizabilitatea și eficacitatea acestora pentru creșterea achizițiilor școlare.

Factorul decisiv al însușirii eficiente a conținuturilor de învățare în orice proces educațional a devenit e-evaluarea. Aceasta s-a transformat dintr-o funcție discretă a procesului de învățare și formare profesională, într-un proces continuu de valorificare a progresului educațional cu oportunități majore de auto-învățare, auto-evaluare, antrenament, auto-control, evaluare tematică formativă, intermediară și finală de calificare

Metodele de testare electronică, inclusiv la distanță, sunt studiate de numeroși cercetători internaționali și reflectate în literatura de specialitate. Printre aceștia se numără B.D. Arend, N.A. Buzzetto-More, A.J. Alade, C. Crump, G. Rice, J.P. Sewell, K.H. Frith, M.M. Colvin și B. Willis, ale căror lucrări contribuie semnificativ la dezvoltarea și validarea acestor practici educaționale moderne [4].

Integrarea tehnologiilor informaționale și comunicaționale în activitățile de (auto) învățare și (auto)evaluare este larg recunoscută ca o verigă esențială în monitorizarea, ajustarea și optimizarea întregului parcurs educațional [5, 6].

Un **reper esențial în consolidarea cadrului metodologic** pentru evaluarea în învățământul profesional tehnic din Republica Moldova, inclusiv on-line, la distanță este oferită de Ordinul nr. 644 din 13.07.2020 al Ministerului Educației și Cercetării privind **aprobarea suportului metodologic** *„Elaborarea programelor de examen în învățământul profesional tehnic"* [7]. Cu toate că suportul metodologic este destinat și are ca țintă validarea programelor examenelor de calificare, armonizarea proceselor de evaluare cu exigențele actuale ale formării profesionale și cu dinamica pieței muncii, cerințele și clauzele metodologice sunt aplicabile și pentru alte tipuri de evaluări.

În vederea implementării prevederilor Ordinului nr. 644 din 13.07.2020, în cadrul IP Centrul de Excelență în Informatică și Tehnologii Informaționale a fost instalat un server dedicat pentru platforma educațională Moodle, la care a fost adăugat ulterior un al doilea server destinat exclusiv susținerii examenelor de calificare.

În contextul predării disciplinei **Informatică în clasa a X-a (anul I)**, aplicarea unor metode eficiente de evaluare continuă și formativă devine esențială, mai ales în situațiile care implică un număr mare de elevi și necesită multiple încercări. Utilizarea itemilor subiectivi, cu răspuns deschis și corectare manuală, se dovedește ineficientă din punct de vedere practic, întrucât presupune un consum ridicat de timp și resurse umane – aspecte limitative în activitatea cadrelor didactice.

În acest sens, o soluție viabilă și sustenabilă o constituie utilizarea itemilor semi-obiectivi, formalizați sau parametrizați, care prezintă variabilitate a conținutului și caracter generativ. Un exemplu relevant în acest cadru este reprezentat de itemii de tip ***Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii*** în cadrul platformei Moodle. Acest tip de item permite automatizarea evaluării, oferind în același timp posibilitatea desfășurării activităților de testare într-un mod flexibil și scalabil – atât în scop formativ, cât și în cadrul evaluărilor intermediare sau finale.

Fiecare item poate fi asociat în mod explicit unei materii și este construit în corelare cu unul sau mai multe obiective specifice ale unităților de studiu.

Totuși, în ceea ce privește generarea automată de teste sau variante paralele în Moodle, platforma are anumite limitări tehnice importante. Selectarea aleatorie a itemilor se face exclusiv pe baza categoriei din care aceștia fac parte și presupune ca toți itemii selectați aleatoriu să aibă același punctaj, fără posibilitatea filtrării după alte criterii relevante, precum: tipul itemului, gradul de dificultate, nivelul de competență vizat sau ponderea în evaluare[8].

Exemplu de item:

- **Cod/Nume:** PS01 – Abilități teoretice competențele disciplinei Informatica clasa 10
- **Obiective urmărite:**
  - Identificarea operatorilor de atribuire

- Definirea modului de citire a operatorilor de atribuire
- Execuția instrucțiunii de atribuire
- Cunoașterea și aplicarea operatorilor/instrucțiunilor de atribuire

- **Enunț:** Completează spațiile libere la următoarele propoziții:

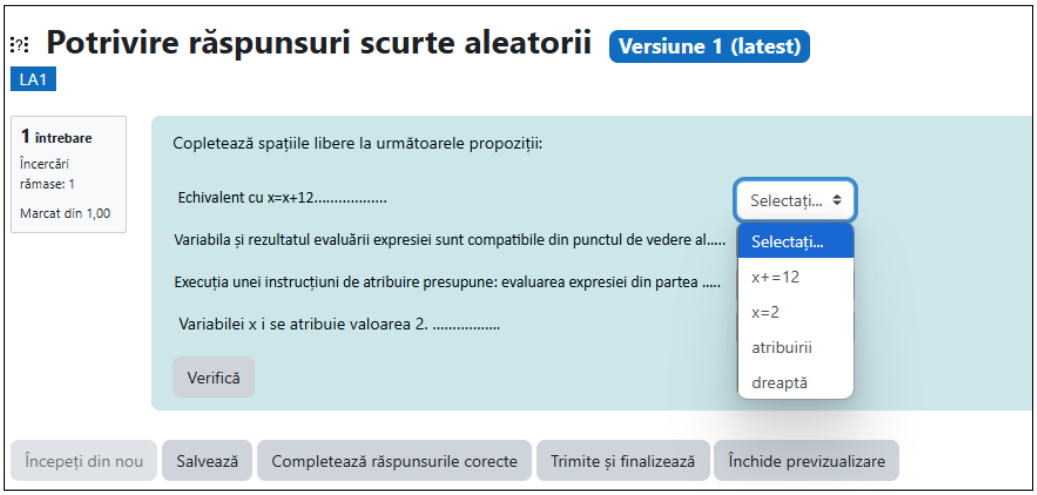


Figura 1. Exemplu de item de tip „Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii ”

Imaginea din **Figura 1** ilustrează un exemplu de item de tip *„Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii”* utilizat pe platforma Moodle, aplicabil în evaluarea cunoștințelor din disciplina Informatică. În acest exemplu, elevul este invitat să completeze spațiile libere din patru propoziții, selectând variantele corecte de răspuns din liste derulante asociate fiecărui enunț.

Fiecare propoziție vizează o noțiune teoretică specifică, precum echivalența expresiilor, compatibilitatea evaluării, atribuirea valorilor și direcția evaluării în cadrul instrucțiunilor de atribuire. Selectarea corectă a răspunsurilor presupune înțelegerea profundă a conceptelor abordate, nu doar recunoaștere superficială.

Astfel, itemii de tip *„Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii”* reprezintă o soluție eficientă și scalabilă pentru evaluarea continuă și antrenamentul aplicativ în cadrul orelor de informatică.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Cercetarea a fost desfășurată în cadrul Proiectului internațional de inovare și transfer tehnologic „*Creșterea performanței academice la disciplina Informatica/TIC din contul implementării unor instrumente standardizate de evaluare pe platforma de eLearning Moodle”:*

- Aprobat prin ordinul Ministerului Educației și Cercetării (MEC) №364 din 18.03.2025;

- Coordonat și monitorizat de către conf. univ., dr. Silviu GÎNCU, șeful Direcției politici în domeniul învățământului profesional tehnic și învățare pe tot parcursul vieții, MEC;
- Sub îndrumarea conducătorului/consultantului științific prof. univ. dr. Tudor BRAGARU, Universitatea de Stat din Moldova.

Echipa de cercetare este constituită din 12 persoane, reunește *cadre didactice de matematică și informatică* de la două instituții din România *(Gimnaziul din Bacău, Liceul Tehnologic „Nicolae Titulescu", Însurăței, jud. Brăila)* și șase din Republica Moldova *(Gimnaziul – grădiniță „Constantin Stere" satul Chircani, raionul Cahul*; *Colegiul de medicină, Cahul; Colegiul „Iulia Hașdeu", Cahul; Liceul Teoretic „Nicolae Iorga", mun. Chișinău; Centrul de Excelență în Informatică și Tehnologii Informaționale (CEITI), mun. Chișinău*).

Experimentul este găzduit pe platforma digitală oficială ale Centrului de Excelență în Informatică și Tehnologii Informaționale (CEITI; https://moodle1.ceiti.md/).

Utilizarea itemilor de tip *Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii* în procesul educațional reprezintă un instrument valoros pentru formarea practică a viitorilor specialiști în domeniul IT. Acest tip de item îmbină avantajele evaluării automate cu oportunitatea exercițiului repetitiv și oferirea de feedback imediat, personalizat, contribuind la consolidarea cunoștințelor într-un mod eficient și adaptat ritmului individual de învățare.

Corectarea automată și generarea instantanee a feedback-ului permit economii substanțiale de timp pentru cadrele didactice, care pot direcționa efortul către activități de sprijin și ghidare personalizată. Astfel, itemii de tip *Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii* contribuie nu doar la eficientizarea procesului de evaluare, ci și la dezvoltarea gândirii logice, a responsabilității în învățare și a performanței în rezolvarea sarcinilor complexe — competențe esențiale pentru un viitor programator competitiv, capabil să se adapteze cerințelor unei piețe digitale dinamice.

DISCUȚII

Scopul acestei lucrări este de a pune în evidență beneficiile învățării limbajelor de programare prin utilizarea itemilor de tip Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii , potențialul acestor itemi, precum și de a ilustra modele unice de itemi, dar cu valori variabile pentru fiecare individ și la fiecare lansare nouă, fie în cadrul evaluării formative, fie în cadrul evaluărilor iteremediare și finale. Modele de itemi sunt realizate pe platforma CEITI (https://moodle1.ceiti.md/login/index.php/), în cadrul Proiectului de inovare și transfer tehnologic „Creșterea performanței academice la disciplina Informatică/TIC prin implementarea unor instrumente standardizate de evaluare pe platforma de eLearning Moodle", aprobat prin ordinul MEC nr. 364 din 18.03.2025.

Printre factorii principali care susțin valoarea educațională a itemului de tip *Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii* se numără oportunitățile sporite de personalizare și eficientizare a procesului de evaluare. Acest tip de item permite generarea automată a

enunțurilor, cu variante de răspuns selectabile și feedback instant, adaptat nivelului fiecărui cursant. Astfel, învățarea devine mai interactivă, mai sigură și mai eficientă.

Utilizarea itemilor *Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii* aduce multiple beneficii:

- **Asigură evaluări obiective, rapide și eficiente**, reducând considerabil timpul necesar corectării, fapt ce permite cadrelor didactice să se concentreze pe sprijinul individualizat oferit elevilor.
- **Diminuează semnificativ riscul de fraudare**, prin variarea aleatorie a conținutului și structurii itemului, chiar și în cadrul aceleiași tematici.
- **Stimulează autonomia în învățare, gândirea logică și dezvoltarea competențelor digitale**, abilități esențiale într-un mediu educațional modern.
- **Susține evaluarea continuă și formativă**, dar este eficient și în cadrul evaluărilor intermediare și finale, oferind o acoperire largă a conținutului curricular.

Cadrele didactice remarcă economia considerabilă de timp datorită corectării automate și apreciază posibilitatea de a acorda mai multă atenție explicării conceptelor și ghidării elevilor. În același timp, se observă o creștere a implicării elevilor, care beneficiază de feedback imediat și relevant, ceea ce îi ajută să-și corecteze rapid greșelile.

Elevii consideră acest tip de item util, provocator și variat, întrucât presupune aplicarea logicii și înțelegerii, nu doar memorarea. Mulți dintre ei afirmă că testele bazate pe acest format sunt mai clare, mai dinamice și mai motivante decât cele tradiționale, contribuind la o învățare activă și profundă.

În **concluzie**, itemii de tip *Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii* reprezintă o resursă didactică valoroasă, care susține transformarea digitală a educației și optimizează procesul de formare în învățământul profesional tehnic.

CONCLUZII

În contextul digitalizării accelerate a educației, integrarea itemilor de tip Potrivire cu răspunsuri scurte aleatorii în Moodle optimizează evaluarea la informatică prin automatizare, personalizare și reducerea fraudei. Acești itemi oferă feedback instant și exerciții variabile, stimulând gândirea logică și învățarea aplicativă. Eliminarea sarcinilor repetitive eficientizează munca profesorilor, permițând concentrarea pe sprijinul individualizat. Astfel, acest format devine un instrument didactic modern, care susține învățarea activă și crește motivația elevilor.

REFERINȚE:

1. GLOBA, A. *Ghid de elaborare a suportului de curs digital.* Chișinău, 2024. [Citat 20.05.2025]. Disponibil: https://upsc.md/wp-content/uploads/2024/06/acte_ghid-de-creare-a-suportului-de-curs-electronic_23.05.2024.pdf
2. *Testele online-o metodă interactivă de învățare*. [Citat 20.05.2025]. Disponibil: http://e-istet.ro/scoala/teste-online/

3. BRAGARU, T. *Testarea electronică - metodă eficientă de învățare*. În Lucrările celei de-a 9-a Conferințe Internaționale „Microelectronică și Informatică" ICMCS 2017. ISBN 978-9975-4264-8-0. pp.378-381. [Citat 20.05.2025]. Disponibil: https://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/11958/Conf_ICMCS_2017_p378-381.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. IEȘEANU, D., BRAGARU, T. *Analiza productivității elevilor prin implementarea tipului de itemi calculat în procesul de evaluare*. În lucrările Conferinței „Perspectivele și Problemele Integrării în Spațiul European al Cercetării și Educației". Cahul, Moldova, 6 iunie 2024, p.92-98
5. BRAGARU, T. *Dezvoltarea cursurilor electronice în mediul e-Learning: elemente de metodică modernă.* În: Lucrările Conferinței internaționale „Telecomunicații, Electronică și Informatică", UTM, ed. a III-a, Vol. II. - Chișinău, ICTEI, 2010, p.429-434.
6. BRAGARU, T. *Aspecte metodico-didactice și bune practici de evaluare în Moodle*. În: Lucrările Conferinței științifice internaționale „Modelare matematică, optimizare și tehnologii informaționale", ATIC, ed. a II-a. - Chișinău: Evrica, 2010, p.328-346.
7. Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova. *Ordin nr. 644 din 13.07.2020 privind aprobarea suportului metodologic „Elaborarea programelor de examen în învățământul profesional tehnic"*. [Citat 20.05.2025]. Disponibil: https://mecc.gov.md
8. BRAGARU, T. *Metodologii de testare pe platforma eLearning Moodle.* În: Lucrările Conferinței științifice internaționale de Microelectronică și Informatică, ediția a 7-a Chișinău, Republica Moldova, 22-24 septembrie 2011 p. 356-361.

CONTRIBUIREA SINERGIEI UNITĂȚILOR INFORMAȚIONALE LA REALIZAREA INFORMATICĂ TOTALĂ A SISTEMULUI MANAGERIAL

THE CONTRIBUTION OF THE SYNERGY OF INFORMATIONAL UNITS TO THE TOTAL INFORMATICS REALIZATION OF THE MANAGEMENT SYSTEM

CZU: 004:338.24 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.103**

Tudor LEAHU
ORCID: 0009-0001-2214-5732
E-mail: leahutudor85@gmail.com
Universitatea Liberă Internațională din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The work is based on the automatic functioning of the material organizational unit as a and indivisible whole, which transforms the managerial system into an object of analogous action, virtually being presented in the form of an automatic material - informational core. Currently, in order to constitute such a core, the emphasis is placed on technical, programmed means and information technology methods, and the environment of their application - the information system - is practically forgotten. Due attention is not paid to "uncalculated processing". The determination of the connections of information units in the process of solving decision-making problems is practically neglected. Proceeding from the created situation, the work highlights the composition of information subsystems of an informative role within the integrated economic managerial system and the stability of their interconnections. The contribution of the synergistic approach of these units to the total informatics realization of the integrated management system is revealed, the development and analysis of the scheme of interconnections between subsystems is carried out, the evolution of the forms of organization of information units is highlighted, with the stability of the most efficient of them - the unitary information fund. The research was conducted based on the methods of information theory, analysis and synthesis, managerial theory, systems theory and systemic analysis, theory of economic informatics and cybernetics, information management concepts and related fields.*

Key-words: *contribution, synergy, informational units, total informatics achievement, managerial systems.*

INTRODUCERE

Sistemul de management economic existent se caracterizează prin izolare spațială și evoluție discretă a proceselor materiale și informaționale, care virtual și în interpretare analogică integrată formează un tot întreg. Prin aceasta se explică multiplele discordanțe dintre aceste categorii de procese, fărâmițarea sistemului managerial pe nivele, perioade operaționale și a sistemului informațional pe sub-sisteme, compartimente, complexe de probleme și probleme particulare. [1, 202-203; 2, 274; 3, 202].

O astfel de situație a dus la influența cea mai expresivă, mai ales, la nivelurile intermediare și superioare, a rolului de înrâurire a subiectului asupra evenimentelor materiale și spirituale atât ale societății umane în ansamblu, cât și ale fiecărei subdiviziuni, individ al ei. Din același motiv au fost create condiții de favorizare a impactului tendențios negativ predominant al sistemului managerial asupra obiectului gestionat, precum și a prevalării aplicării resurselor administrative.

De pe poziții unitare, toate aceste momente, cu prevalență, sunt cauzate de inadecvarea nivelului de performanță al sub-sistemului de management comparativ cu sub-sistemul de conducere. Formarea rupturii menționate s-a produs odată cu stabilirea caracterului social al activităților materiale și spirituale umane, ca urmare a deficitului de informații calitative.

Analiza derulării cursului acestor doi constituenți ai procesului de management economic unitar, relevând în transparență mersul obiectiv, dar până la sub-conștientul subiectului, va conduce spre lichidarea izolării teritoriale și a funcționării întrerupătoare a acestora. În prezent și la începutul socializării activităților subiectului, o astfel de avansare este realizată prin aplicarea mijloacelor tehnice, programate, metodelor tehnologice, matematice, etc., considerate resurse informatice.

Trasând o paralelă între progresul dezvoltării resurselor elucidate, devine perceptibil faptul că cele anterior menționate au avansat în esență, în timp ce, din punctul de vedere al acoperirii complete a fenomenului informațional, ca unitate integrală, aplicarea lor în domeniile economic informativ și decizional este insuficient. În acest sens, se atestă cuprinderea satisfăcătoare de către mijloacele și metodele informatice doar a etapei de prelucrare , pe când celelalte două etape - inițială și de utilizare , rămân în mare parte efectuate manual de către subiect. Ca urmare, a existat un dezacord substanțial între nivelurile de performanță ale resurselor informatice și mijloacelor domeniului lor de aplicare - informația. Această situație, dealtfel, poate fi calificată și ca o nepregătire a activităților informaționale pentru implicarea resurselor nominalizate în prelucrarea acesteia.

Asemenea, globalizarea materială nu poate fi realizată și operată fără globalizarea informațională.

Nu mai puțin valoroasă în acest caz este adecvarea structurării și organizării resurselor informaționale. Realizarea deplină a interconectărilor de prelucrare și utilizare, începând cu fiecare problemă și finalizând cu sistemul managerial, mecanic (de la sine) asigură continuitatea evoluției fiecărui și tuturor proceselor de transformare a datelor. În cazul, în care această continuitate este suportată de mijloacele și metodele tehnice, sistemul devine de acțiune automată.. De aceea, nu numai factorii informatici, dar și domeniul de aplicare al lor, structurarea rațională a interconectărilor, organizarea eficientă și procesarea nemijlocită (directă) contribuie la funcționarea analogică a sistemului de management. Deci, de importanță și rol decisiv în cadrul sistemului informatic integrat și de orice tip dispun și resursele informaționale.

MATERIALE ȘI METODE

Deoarece varietatea interconectărilor și interacțiunilor dintre unitățile informaționale și unitățile tuturor celorlalte categorii de resurse informatice este complexă, iar numărul lor – considerabil, cercetările lucrării sunt bazate și au fost efectuate cu aplicarea unei game extinse de metode investigative. Printre ele se enumeră metodele teoriei, analizei și sintezei informațiilor circulante în cadrul sistemului managerial unitar integrat. De asemenea, sinergia generală a unităților informaționale (primare, intermediare, rezultative) este elucidată de pe pozițiile teoriei managementului, teoriei sistemelor și analizei sistemice, teoriei mulțimilor, teoriei informaticii și ciberneticii proceselor de masă.

De menționat, că actualmente și permanent resursele informatice enumerate mai sus sunt considerate în mod corect și întemeiat de rol decisiv în procesul unitar de prelucrare a datelor. Însă, nu mai puțin valoroasă pentru realizarea automată a acestui proces este adecvarea structurării și organizării resurselor informaționale la condițiile existenței și evoluției celorlalte resurse, care, de asemenea, e necesar să fie integrate la etapa inițială de interconectare a unităților informaționale.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

După rolul îndeplinit în cadrul sistemului unitar integrat de management economic, bazat pe înglobarea ambelor compartimente constituente ale lui – material și informațional, în componența celui din urmă pot fi evidențiate informații de conținut informativ și decizional. Cele informative îndeplinesc funcția de reflectare unilaterală referitor la disponibilitatea și evoluția resurselor economice (umane, materiale, financiare). Unilateralitatea reflectării rezidă în descrierea parametrilor, caracteristicilor cantitative și calitative ale obiectelor (proceselor) de categorie economică la un anumit moment temporal verificativ de gestiune sau exclusiv numai la începutul ori numai la finele unei perioade de timp. De aceea, orice valori informaționale de așa varietate, luată în particular, fără a se ține cont și a le concorda cu alte varietăți de informații de aceeași clasă, nu poate servi drept bază de întreprindere a anumitor acțiuni materiale sau spirituale. Prin urmare, informațiile în cauză sunt lipsite de însușiri comparative, predestinația lor decisivă rămânând cea descriptivă. Din acest motiv, pentru a obține astfel de însușiri se impune formarea și combinarea a două și mai multe tipuri de informații cu rol de informare a decidentului. Îmbinarea este obiectiv provocată de descrierea uni-poziționlă a evenimentelor și participanților lor, adică, numai dintr-un punct de vedere.

Informațiile de rol informativ ar fi oportun să fie considerate drept situaționale, așa cum ele reflectă starea activităților și constituentelor lor după scurgerea sau în așteptarea unei perioade de timp. Ca exemplu informațiile de evidență, fără informațiile de normare și previziune nu constituie baza formulării oricărei decizii Aceeași situație se referă și la analiză , care totalmente depinde de alte informații. În acest plan sinergia subsistemelor informative este prezentată în Fig.1

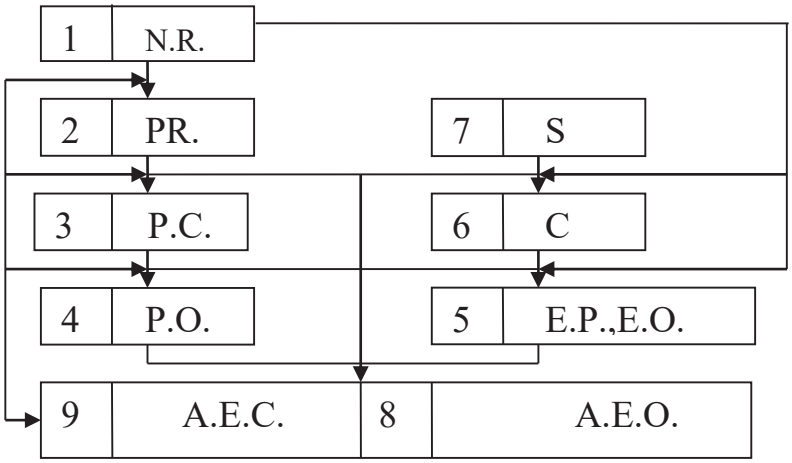


Figura 1. Schema compoziţională, interconexiunile și interacțiunile informaționale dintre sub-sistemele informative ale sistemului informațional managerial economic unitar integrat

În schemă sunt admise următoarele semnificări ale sub-sistemelor : N.R. – normare și reglementare; PR. – prognozare P.C.- previziune curentă; P.O. – previziune operativă; E.P. – evidență primară; E.O. – evidență operativă; C. – contabil; S. – statistic; A.E.O. – analiză economică operativă; A.E.C. – analiză economică curentă [1, p. 202; 2, p. 216; 3, p. 208].

De pe poziții de conținut, sistemul managerial unitar integrat, luat în întregime, se construiește pe funcții de gestiune, care după realizarea lor temporală se divizează în următoarele două grupe mari:

1. funcții ce precedă activitățile materiale economice (A.M.E.), la care se referă normarea și reglementarea (N.R.), pronosticul (PR.), previziunile curentă (P.C.) și operativă (P.O.);

2. funcții ce succedă A.M.E., la ele referindu-se evidența primară (E.P.), operativă (E.O.), contabilitatea (C), statistica (S), analiza economică operativă (A.E.O.) și curentă (A.E.C.).

Schema din Fig.1. demonstrează, că pornind de la conținutul funcțional, demararea evoluției S.M.E.U.I. are loc odată cu elaborarea și punerea în funcțiune a sub-sistemului de normare și reglementare (N.R.), în baza căruia în continuare se realizează lanțul: PR.→P.C.→P.O.→E.P., E.O.→ C→S→A.E.O.→A.E.C.

Succesiunea dată confirmă faptul încununării tuturor activităților informative ale S.M.E.U.I. de sub-sistemul de analiză economică (A.E.), după realizarea căruia inevitabil urmează formularea produselor decizionale economice (P.D.E.). Impactul A.E. este cel mai nemijlocit (direct, apropiat) de sistemul gestional economic (S.G.E.), în cadrul ei

(analizei) având loc erupția P.D.E. de la produsele informative (P.Iv.E.). Deci, activitățile de A.E. finalizează evoluția sub-compartimentului informativ și servește drept bază de demarare a funcționării sub-compartimentului decizional al S.M.E.U.I. De aceea, A.E. ocupă poziție intermediară între compartimentele informativ și decizional ale sistemului examinat [4, p, 211; 5, p. 107-110].

Referitor la interconexiunile și interacțiunile de conținut dintre componentele informative structurale ale S.M.E.U.I., se constată că ele sunt de ordin funcțional, transformativ și pragmatic. Prima categorie a lor se referă la conexiile și funcționarea unităților informaționale informative ale fiecărei probleme, complex de probleme, sector, sub-sistem și sistem de probleme informaționale (informative și decizionale). Cea de-a doua categorie are atribuție față de categoriile procedurilor și operațiunilor transformative efectuate asupra valorilor unităților informaționale informative, lanțul succesiunii realizării lor fiind următorul: proceduri informaționale ($PR.I_{l}..$) → proceduri structurale (PR.S.) → operațiuni de calcul (O.C.) = proceduri informaționale (de perfectare și oferire a rezultatelor procesării) [1, p.424; 5, p.11].

Interconexiunile și interacțiunile de ordin pragmatic (de utilizare) au atitudine față de implicarea unităților informaționale informative economice în procesele de transformare a valorilor lor și de formulare a deciziilor. În context de conținut, atât transformativ, cât și funcțional, cele mai frecvent realizate variante de implicare în comun a unităților informaționale informative economice sunt posibile următoarele de bază: N.R. + PR.; N.R. + P.C.; N.R. + P.O.; N.R. + E.O.; N.R. + C; N.R. + S.; P.C. + C; P.C. + S; P.O.+E.O., etc.

Din această enumerare se observă că cele mai masive sunt interconexiunile și interacțiunile dintre unitățile informaționale informative de normare și reglementare a activităților materiale economice (N.R.A.M.E)., apoi cele de previziune (P.R., P.C.,P.O.) și fragmentar – acele de evidență operativă (E.O.), contabilă (C) și statistică (S.)

Pentru majoritatea formeior existente de organizare a unităților informaționale este caracteristică dispersarea acestor unităţi în spaţiu şi timp, din ce cauză ele preponderent sunt procesate şi utilizate în mod separat, neorganizat, fără a se ține cont de caracterul lor sistemic şi, deci, interconectat.

Treptat, însă, pe măsura creşterii volumului şi complicării componenței activităţilor materiale, graţie intensificării relaţiilor reciproce dintre diverse subdiviziuni şi agenţi economici, se impune constituirea şi realizarea unui nucleu informaţional unitar integrat sub formă de fond informaţional informativ unitar ($F.I_{l}.Iv.U.$) al unităţii organizatorice economice (U.O.E.). Destinația de bază a acestui fond constă în asigurarea cu date a proceselor de organizare (păstrare), transformare şi utilizare a informaţiilor concrete [6, p. 512-514; 7, p.104-112; 8, p.320-327].

Faptul că fondul informaţional este unitar nu înseamnă că organizarea și funcționarea lui se efectuează în mod centralizat. Chiar și în așa caz, la nivel general, prelucrarea și utilizarea informațiilor realmente are loc în mod distribuit, fiindcă sistemul de gestiune economică dispune de o mulțime de nivele gestionale și obiecte ale lor, dispersate spațial și discrete temporal [7, p.113-116; 8, p. 328-332].

Inițial, și ,deocamdată, la moment sub formă de F.I$_l$.Iv.U. sunt organizate parțial resursele informaționale ce necesită păstrare permanentă pe memoria informatică. Deci, aria realizării F.I$_l$.Iv.U. în practica activităților informaționale economice cuprinde numai o parte din datele relativ constante și nu se referă deloc la cele variabile, care zilnic sunt fixate, organizate și prelucrate. Din această cauză informațiile variabile după volum sunt enorm de considerabile comparativ cu cele relativ constante.

Afirmarea dată se face cu scopul de a sublinia nivelul de tratare teoretică și de realizare practică a F.I$_l$.Iv.U. și de a stabili, că actualmente în acest domeniu ne găsim la etapa inițială. De aceea privind componența și conținutul F.I$_l$.Iv.U. al U.E. se va face cu referință la aspectul lor funcțional în cadrul sistemului de gestiune economică.

Situația creată a constituirii și funcționării F.I$_l$.Iv.U., de asemenea, se explică și prin faptul că până acum nu este elaborat sistemul unitar de informații economice pentru unitatea economică, nu sunt evidențiate deplin și autentic relațiile informaționale funcționale de caracter intern și extern.

Totodată, chiar și organizarea unei părți de informații relativ constante sub formă de F.I$_l$.Iv.U. este avantajoasă, așa cum aceasta conduce la reducerea consumurilor de timp, de spațiu memorar și de alte resurse, legate de introducerea datelor, prelucrarea lor și de factori, anterior enumerați și caracterizați.

Elaborarea F.I$_l$.Iv.U. solicită soluționarea mai multor grupe de probleme, printre care de bază fiind următoarele:

1) determinarea componenței și numărului problemelor, complexelor de probleme și sub-sistemelor informative, care e necesar să fie soluționate de sistemul informatic economic, filtrarea și distribuirea lor pe nivele de gestiune; selectarea structurii logice a F.I$_l$.Iv.U. și a componentelor lui. corelația aspectelor informațional și tehnologic al procesării automate a datelor;elaborarea structurii logice a bazei de date, care include așa lucrări, cum sunt, selectarea și determinarea totalității de elemente de date incluse în componența conținutului ei, stabilirea relațiilor semantice între ele, evidențierea și selectarea diverselor tipuri de structuri de date și corelării între ele, determinarea elementelor acestor structuri.

Toate cele elucidate până aici cu prisosință confirmă faptul că la momentul actual și în perspectiva previzibilă crearea deplină a S.M.E.U.I. prezintă o problemă extrem de complexă și dificilă de a fi tradusă în viață. Însă, de conceptul acestui sistem, precum și de abordarea lui sistemică, cu includerea tuturor componentelor posibile e necesar de ținut cont permanent.Până când una din cele mai performante și raționale forme de organizare a unităților informative se consideră fondul informațional informativ al unității economice (F.I$_l$. Iv.U.E.).

Referitor la perspectiva formelor organizării integrate a datelor pe spațiul suporturilor informatice se poate preconiza că cea mai performantă din ele ar fi aceea ce automat ar asigura acumularea, repartizarea, păstrarea și oferirea informațiilor necesare în orice moment cu scopul fondării, formulării și luării deciziilor contributive la evoluția dorită a obiectului (procesului) gestionat [3, p.144-148; 7, p. 116-118; 8, p. 332-334].

CONCLUZII

1. Din cauza investigațiilor insuficiente și realizărilor practice minimale, se consemnează o rămânere în urmă esențială a domeniului informațional atât față de celelalte resurse informatice, cât și față de domeniul material gestionat.

2. La lichidarea acestei discrepanțe, prin realizarea informatică integrală a sistemului unitar integrat de management economic, contribuie nu numai tehnica, programarea, etc., dar și informația – prin structurarea rațională, organizarea și procesarea ei eficientă.

3. Așa cum unele probleme gestionale decurg din altele, sunt informațional condiționate, prin realizarea informatică deplină a interconectărilor și interacțiunilor dintre ele, poate fi elaborat și pus în funcțiune analogică un sistem managerial, care cuprinde toate procesele materiale și informaționale în strigentă și nemijlocită interconexiune și interacțiune, astfel formând un nucleu material – informațional automat.

4. Realizarea unitară integrată a astfel de interconectări și interacțiuni și-a găsit expresia sub formă de fond informațional informativ unitar al unității organizatorice economice (întreprindere, asociație, subramură, ramură, economie națională).

5. Perspectiva formelor organizării și procesării integrate a datelor în mediul informatic indică precum că cea mai performantă din ele ar fi aceea ce ar asigura în mod automat acumularea, repartizarea, păstrarea și oferirea informaţiilor necesare în orice moment cu scopul fondării, formulării şi luării deciziilor contributive la evoluţia dorită a obiectului (procesului) gestionat.

REFERINȚE:

1. LEAHU, T. *Sinergia formelor (unităților) și metodelor organizării datelor informative pe mediul fizic al sistemului informatic unitar integrat.* În: EcoSoEn.*Științe Economice, Sociale și Inginerești.* REVISTA ȘTIINȚIFICĂ. *Anul 4, NR3-4/2021*, Chișinău: TTIPOGRAFIA PRINT- CARO, 2021, p. 202-211. ISSN 2587-344X, E-ISSN 25870425X.
2. LEAHU, T. *Contributory aspects of integrated informatics systems to the impact of globalization on national economies.* In: Economy Transdisciplinarity Cognition.Volume 22, Issue 2/ 2019. George Bacovia University Publishing House, Bacău., 2019, p. 124-139. ISSN: 2067-5046
3. LEAHU,T. *Organizarea, structurarea şi transformarea informaţiilor sistemului managerial economic* Monografie. Chişinău: CEP USM, 2009, p.90-96, 140-148. ISBN 978-9975-70-876-0
4. LEAHU,T. *Sisteme informaționale conceptuale de management economic integr*at. Monografie. Chişinău: CEP USM, 2021, p. 93-97,107-112. ISBN 978-9975-158-22-0
5. LEAHU,T., COTELNIC, A. The integration of the functional and informatics

aspects of organizing economic management unitary operative system of information. In: Journal of Research on Trade, Management and Economic Development. Volume 5, Issue 1(9)/2018, p. 116-127. ISSN 2345-1424, E-ISSN 2345-1483

6. LEAHU, T. *Trend of the evolution, prospect and concordance of the organizational forms and units of functioning of the economic informatics systems.* Proceedings of the 37th Annual Congress of the American Romanian Academy of Arts and Sciences. Chișinău, Central Publishing House, 2013, p.511-514.ISBN 978-9975-53-218-1
7. LEAHU, T. *Evolutionary trends of forms of organization of economic situational information and their informatics achievement units.* In: Journal of Research on Trade, Management and Economic Development.Vol. 6, Issue 1(11)/2019. Chișinău-2019, p. 104-118. ISSN 2345-1424, E-ISSN 2345-1483
8. LEAHU, T. Unitary informational fund – performing way of data organization on space of integrated informatics systems. In: Journal of the Balkan Tribological Association. Vol. 30, № 5, 2024, p.820-834 ISSN 1310-4772.

PROGNOZAREA ADMITERII UNIVERSITARE BAZATĂ PE MODELE STATISTICE ȘI INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

UNIVERSITARY ENROLLMENT FORECASTING THROUGH STATISTICAL AND AI-BASED MODELING

CZU: 004.89:378 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.104**

Dan LEFTER
ORCID: 0009-0008-3240-6642
E-mail: dan.lefter@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Maria CAPCELEA
ORCID: 0009-0009-3321-3946
E-mail: maria.capcelea@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*This paper presents a predictive analysis system designed to estimate the future evolution of student enrollment in Moldovan universities. Using official data on natality (1980–2023), student enrollment, and graduate statistics (2005–2023), the study employs a multi-model approach based on statistical indicators and machine learning forecasting methods. Models such as linear regression, polynomial regressions (degrees 2 and 3), exponential growth, and autoregressive (AR) analysis were implemented and compared. The models are integrated into an interactive Streamlit web application, allowing stakeholders to select forecasting horizons and visualize the future trends of university enrollment by specialty. Results show differentiated evolutions among specialities and highlight the importance of demographic trends in educational planning [1-2].*

Keywords: *autoregression, educational forecasting, enrollment prediction, machine learning, student statistics.*

INTRODUCERE

Transformările demografice, sociale și economice din ultimele decenii au generat schimbări semnificative în cererea pentru educație superioară în Republica Moldova. În acest context, previzionarea evoluției numărului de studenți devine o necesitate esențială pentru instituțiile de învățământ superior și pentru factorii decizionali de la nivel național, în concordanță cu tendințele globale de participare la învățământul superior raportate de World Bank [3].

Obiectivul principal al lucrării este de a elabora un sistem de analiză predictivă a numărului de studenți în funcție de evoluția natalității și de tendințele în învățământul superior. Acest sistem se bazează pe metode statistice clasice, completate cu tehnici mo-

derne de inteligență artificială, și este integrat într-o platformă interactivă destinată utilizatorilor din domeniul educației și cercetării [4-5].

Lucrarea este structurată astfel: după prezentarea cadrului metodologic și a seturilor de date utilizate, sunt analizate modelele de predicție și rezultatele obținute. În final, se oferă concluzii, limitări și direcții viitoare de cercetare și implementare.

MATERIAL ȘI METODĂ

Studiul utilizează date oficiale provenite din următoarele surse:

- **Natalitatea anuală (1980–2023)** – date statistice naționale publicate de Biroul Național de Statistică [1];

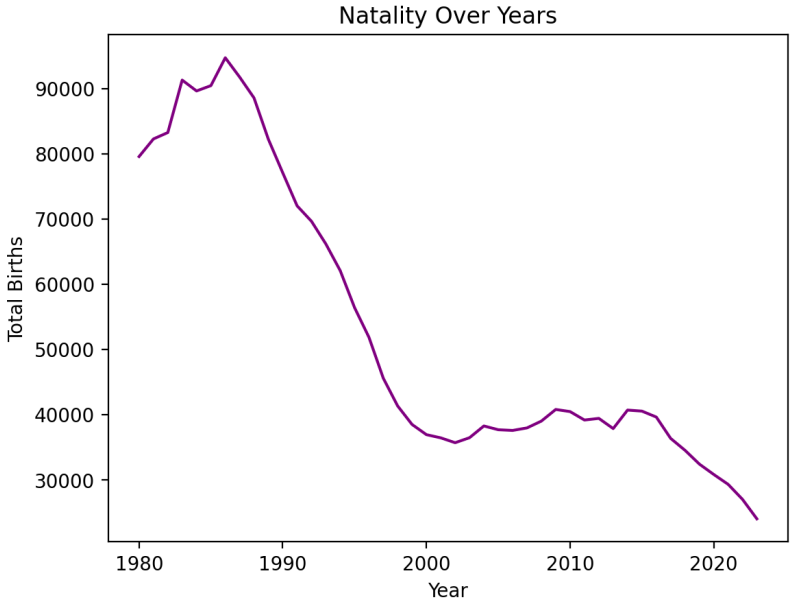


Figura 1. Natalitatea pentru perioada 1980 - 2023

- **Numărul de studenți înscriși și absolvenți (2005–2023)** – statistici educaționale oficiale furnizate de Ministerul Educației și Cercetării [2];

Datele au fost prelucrate folosind biblioteci Python precum *pandas*, *numpy*, *scikit-learn*, *matplotlib*, *statsmodels* și *streamlit* [5].

Pașii metodologici au inclus:

1. **Curățarea și transformarea datelor**:
   - Eliminarea valorilor lipsă;
   - Corelarea anului nașterii cu anul posibil de admitere (presupunând vârsta de 18 ani);
   - Alinierea seriilor de timp pe aceeași axă cronologică.

2. **Calculul indicatorilor descriptivi**:
   - Media, mediana, variația standard, coeficientul de variație, pantele trendului anual;
   - Selecția specialităților cu cel mai mare și cel mai mic număr de înscriși pe an [6].
3. **Modele aplicate:**
   - **Regresie liniară**: bună pentru tendințe uniforme, aplicată pentru serii stabile (ex. *Informatică*);
   - **Regresie polinomială (gradul 2 și 3)**: captarea curbelor cu oscilații, util pentru serii precum *Arte* sau *Economie*;
   - **Model exponențial**: folosit pentru serii cu creștere accelerată sau scădere abruptă;
   - **Autoregresie (AR)**: folosit în special pentru serii sezoniere și ciclice precum *Pedagogie*, oferind precizie ridicată [4].
4. **Evaluarea modelelor**:
   - R^2, MSE și MAE au fost calculate pentru fiecare model și specialitate;
   - Intervalele de încredere 95% au fost reprezentate grafic [5].
5. **Integrarea aplicației în Streamlit**:
   - Utilizatorii pot selecta specialitatea, modelul de predicție și perioada de prognoză (până în 2035);
   - Graficele interactive permit compararea valorilor reale și estimate.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele obținute indică o evoluție diferită în funcție de domeniul de studiu:

- *Ştiințe ale educației*: compararea modelelor indică o superioritate clară a modelului autoregresiv (AR), care a atins un coeficient R^2 de 0.9819, față de doar 0.5685 în cazul regresiei exponențiale. De asemenea, intervalul de încredere de ±993.96 în AR confirmă o stabilitate ridicată a predicției, comparativ cu ±4694.64 în modelul exponențial. Declinul estimat este de -4.37% până în 2033 în AR, față de -15.68% în modelul exponențial. Aceste diferențe evidențiază necesitatea utilizării unor modele robuste în domeniile sensibile precum educația.
- *Arte* înregistrează o tendință relativ stabilă, cu variații moderate și o ușoară creștere estimată până în 2030;
- *Agronomie* și *Ştiințe exacte* prezintă o scădere continuă, corelată cu natalitatea redusă după anii 2000 [2];
- *Informatică* prezintă o creștere ușoară, dar instabilă, captată mai bine de regresia polinomială de gradul 3;
- Pentru *Pedagogie*, modelul AR a prezentat cel mai mic MAE (~48 studenți/an) și un R^2 de peste 0.92, indicând un model optim.

Tabel 1. Comparație între metodele de regresie

Model	Utilitate	Avantaje	Limitări
Liniară	Serii stabile, tendințe simple	Ușor de interpretat	Sensibil la outliers
Polinomială	Oscilații, sezonalitate slabă	Flexibilă, potrivită pentru Arte	Risc de overfitting
Exponențială	Scădere/creștere rapidă	Captare rapidă a declinului	Sensibilă la fluctuații
Autoregresiv	Serii ciclice sau sezoniere	Precizie ridicată (ex: AR R^2=0.98)	Necesită istoric lung

Mai mult, dacă analizăm rata de creștere sau descreștere pentru fiecare model, observăm că predicțiile variază semnificativ. Spre exemplu, în *Științele educației*, modelul exponențial estimează o descreștere de -15.68%, ceea ce implică un declin abrupt, pe când modelul AR anticipează o descreștere moderată de -4.37%, într-un interval de încredere mult mai îngust. Acest contrast are implicații directe în planificarea resurselor și a finanțării universitare.

Natalitatea din Republica Moldova a suferit o scădere accentuată după anii 2000, determinată de factori economici, sociali și migrațională [1]. Acest declin demografic se reflectă direct în scăderea populației tinere eligibile pentru învățământul superior. Pe fondul acestei tranziții, instituțiile educaționale se confruntă cu necesitatea de a adapta oferta academică, infrastructura și strategiile de recrutare.

Corelarea natalității cu numărul de studenți indică o întârziere de aproximativ 18 ani între scăderea numărului de nou-născuți și reducerea cohortelor de admitere la facultate. În acest sens, utilizarea predicțiilor pe baza datelor demografice devine crucială pentru politici publice coerente, estimarea bugetelor instituționale și dimensionarea locurilor bugetate [2].

Utilizarea corectă a modelelor predictive permite instituțiilor să adopte măsuri proactive. Spre exemplu:

- **Scăderile abrupte prognozate** (ex: -15.68% în modelul exponențial pentru Științele Educației) pot avertiza asupra reducerii necesare a capacităților instituționale – săli, cadre, locuri bugetate;
- **Modelul autoregresiv**, care prezice o scădere mai lentă (-4.37%), permite un **management gradual** al resurselor;
- **Intervalele de încredere mai înguste**, precum ±993.96 în modelul AR, sporesc fiabilitatea deciziilor bazate pe aceste prognoze, în comparație cu cele largi (±4694.64) care induc incertitudine.

Aceste interpretări pot fi extrapolate la alte specialități. În cazul Informaticii, creșterea neregulată dar general pozitivă poate sugera oportunitatea extinderii capacităților în acest domeniu. În contrast, domenii precum Agronomia sau Științele exacte, cu o tendință descendentă constantă, necesită o regândire a politicilor de promovare și atragere a studenților.

Pentru extinderea acestei cercetări, sunt planificate următoarele:

- **Integrarea datelor socio-economice** (venitul mediu pe gospodărie, rata șomajului) în modelele predictive, pentru a analiza cum influențează acestea decizia de a urma studii superioare;
- **Includerea unui model LSTM (Long Short-Term Memory)** pentru a compara performanța rețelelor neuronale cu modelele statistice clasice;
- **Publicarea aplicației ca serviciu educațional web** cu acces extins pentru instituții, prin integrarea de API-uri cu surse oficiale (BNS, MEC);
- **Studii de impact**: estimarea pierderilor financiare instituționale dacă predicțiile nu sunt luate în considerare (analiză de risc).

CONCLUZIE

Studiul de față demonstrează aplicabilitatea metodelor statistice și algoritmice în previzionarea evoluției învățământului superior din Republica Moldova. Modelele AR s-au dovedit superioare în stabilitate și precizie, în special pentru domeniile cu sezonalitate pronunțată. Legătura clară între natalitate și înmatriculare validează ipoteza că previziunile educaționale trebuie corelate cu dinamica populației.

În concluzie, predicțiile pe baza datelor reale nu doar că pot îmbunătăți eficiența instituțională, dar pot susține și formularea politicilor educaționale adaptate realităților demografice și socio-economice.

REFERINȚE:

1. BIROUL NAȚIONAL DE STATISTICĂ AL REPUBLICII MOLDOVA. Date statistice despre populație și educație. Disponibil: https://statistica.gov.md [Accesat: 08.02.2025].
2. MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII. Anuare statistice educaționale 2005–2023. Disponibil: https://mecc.gov.md [Accesat: 28.04.2025].
3. WORLD BANK. Higher Education Participation Rates, 2023. Disponibil: https://data.worldbank.org [Accesat: 08.07.2025].
4. HYNDMAN, R.J., ATHANASOPOULOS, G. *Forecasting: Principles and Practice*. Monash University, 2021. Disponibil: https://otexts.com/fpp3/ [Accesat: 18.05.2025].
5. STREAMLIT. Documentation. Disponibil: https://docs.streamlit.io [Accesat: 05.03.2025].
6. SCIKIT-LEARN. Machine Learning in Python. Disponibil: https://scikit-learn.org [Accesat: 02.03.2025].

N.B. *Această lucrare reprezintă rezultatul activității de cercetare desfășurate în cadrul proiectului „011302 Metode analitice și numerice pentru rezolvarea problemelor decizionale dinamice stochastice”.*

ENHANCING BUSINESS PROCESSES THROUGH SALESFORCE INTEGRATION WITH OTHER SYSTEMS

ÎMBUNĂTĂȚIREA PROCESELOR DE AFACERI PRIN INTEGRAREA SALESFORCE CU ALTE SISTEME

CZU: 004.89:005:339.138 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.105**

Ludmila NOVAC
ORCID: 0009-0009-1473-8771
E-mail: ludmila.novac@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Integrarea Salesforce cu alte sisteme ale companiei îmbunătățește semnificativ eficiența proceselor de afaceri și implicarea clienților. Prin conectarea Salesforce cu platforme precum ERP, automatizarea marketingului, comerțul electronic și instrumentele de asistență pentru clienți, organizațiile elimină compartimentele de date și permit schimbul de date în timp real. Această integrare favorizează o mai bună luare a deciziilor, reduce sarcinile manuale și oferă o viziune unificată asupra clientului. Prin metode precum conexiunile API, platformele middleware și arhitectura bazată pe evenimente, companiile pot adapta strategiile de integrare pentru a satisface nevoile operaționale specifice. Un studiu de caz al StyleSphere, o afacere de retail, demonstrează o performanță îmbunătățită prin sisteme integrate, ceea ce duce la o procesare mai rapidă a comenzilor și la un marketing personalizat. Pe măsură ce ecosistemele digitale evoluează, integrarea Salesforce rămâne o necesitate strategică pentru companiile care caută scalabilitate, automatizare și un avantaj competitiv în gestionarea relațiilor cu clienții.*

Cuvinte-cheie*: inteligență artificială, sisteme CRM, set de instrumente Einstein AI, Einstein GPT, platformă Salesforce, Salesforce AppExchange, Salesforce CRM Analytics.*

INTRODUCTION

In the age of digital transformation, organizations rely on integrated technological ecosystems to streamline operations, improve customer engagement, and boost productivity. Salesforce, a leading customer relationship management (CRM) platform, plays a central role in managing sales, marketing, and service processes [1,2]. However, its true potential is realized when integrated with other enterprise systems such as ERP, marketing automation tools [3], e-commerce platforms, and support services [4]. This article explores how Salesforce integration can improve business processes, the methods used, the challenges faced, and the benefits gained.

1. OBJECTIVES AND IMPORTANCE OF INTEGRATION

The primary goal of integrating Salesforce with other systems is to create a unified environment where data flows seamlessly across platforms. Integration helps eliminate data silos, reduce manual input errors, and accelerate workflow automation. Real-time

access to consolidated data enhances decision-making and provides a holistic view of customer interactions [6,7]. These integrations not only improve operational efficiency but also lead to higher customer satisfaction and increased revenue.

2. COMMON INTEGRATION SCENARIOS

Businesses commonly integrate Salesforce with the following systems [6]:

- **Enterprise Resource Planning (ERP)**: Integrating with systems like SAP or Oracle helps manage inventory, invoicing, and financials, ensuring that sales data aligns with backend operations.
- **Marketing Platforms**: Tools such as HubSpot or Marketo sync with Salesforce to align lead generation and nurturing campaigns with CRM records.
- **Customer Support Solutions**: Platforms like Zendesk and ServiceNow integrate to create a comprehensive customer support experience, drawing on full customer histories.
- **Collaboration Tools**: Integration with Slack, Outlook, or Microsoft Teams supports better communication and faster updates.
- **E-commerce Platforms**: Linking Salesforce to Shopify or Magento enables synchronization of customer orders, payment status, and delivery tracking.

3. INTEGRATION METHODS AND TECHNOLOGIES

Salesforce supports multiple integration methods [5,7]:

- **APIs (Application Programming Interfaces)**: REST and SOAP APIs are widely used for real-time data exchange.
- **Middleware Solutions**: Platforms like MuleSoft (a Salesforce company), Dell Boomi, and Jitterbit facilitate complex integrations using connectors and orchestration logic.
- **AppExchange**: Salesforce's marketplace offers pre-built integrations that can be deployed with minimal configuration.
- **Event-Driven Architecture**: Platform events and change data capture features support asynchronous communication between systems.

These methods allow businesses to choose between real-time, batch, or hybrid integration models based on their requirements.

4. CHALLENGES OF INTEGRATION

While integration offers many advantages, it also comes with challenges [5-7]:

- **Data Consistency**: Ensuring that data remains accurate and up-to-date across systems requires careful mapping and validation.
- **Security and Compliance**: Data privacy regulations such as GDPR necessitate secure handling of sensitive customer information.
- **Cost and Complexity**: Implementing and maintaining integrations can be resource-intensive, requiring technical expertise and investment.

- **Change Management**: Adoption of new workflows may face resistance from employees accustomed to legacy systems.

5. BENEFITS TO BUSINESS PROCESSES

Despite the challenges, successful Salesforce integration can transform business operations:

- **Operational Efficiency**: Automated data entry and process flows save time and reduce errors.
- **Customer Insights**: A 360-degree view of customer interactions enables personalized marketing and support.
- **Scalability**: Integrated systems support business growth by adapting to increasing data volumes and process complexity.
- **Better Reporting**: Unified data enables comprehensive analytics and forecasting, leading to informed decision-making.

Integrating Salesforce with other systems delivers significant benefits across business operations. It streamlines workflows by automating data exchange and reducing manual tasks, leading to greater operational efficiency. Teams gain real-time access to consistent, accurate information, enabling faster and more informed decision-making. Integration also enhances customer engagement by providing a 360-degree view of interactions, allowing for personalized service and marketing. Additionally, unified systems support scalability, making it easier to adapt to growth and increasing data complexity. By consolidating reporting and analytics, businesses can track performance and forecast trends more effectively. Overall, Salesforce integration is a powerful driver of digital transformation, equipping organizations with the agility and insight needed to remain competitive in a dynamic marketplace [3], [6,7].

6. CASE STUDY: SALESFORCE INTEGRATION IN A RETAIL BUSINESS

COMPANY BACKGROUND

A mid-sized retail company, "StyleSphere," sells apparel through physical stores and an online platform built on Shopify. The company also uses NetSuite for ERP and Mailchimp for email marketing.

Challenge: StyleSphere struggled with disconnected systems. Customer orders from Shopify weren't reflected in Salesforce in real time, and sales teams had incomplete customer profiles. Marketing campaigns were generic due to a lack of real-time insights.

Solution: StyleSphere implemented a multi-system integration using MuleSoft:

- Shopify was integrated with Salesforce to push online order data directly into CRM.
- NetSuite integration enabled real-time updates on inventory and financial data in Salesforce.
- Mailchimp was connected to Salesforce to sync customer behavior with campaign triggers.

Results:

- Sales and marketing teams gained access to unified customer profiles.
- Personalized email campaigns increased customer engagement by 35%.
- Order processing time dropped by 20% due to synchronized systems.
- Management used consolidated dashboards for faster decision-making.

Conclusion: The integration of Salesforce with other platforms provided StyleSphere with a competitive edge by improving workflow automation, enhancing customer engagement, and streamlining operations [8,9].

7. SALESFORCE INTEGRATIONS WITH OTHER SYSTEMS

The visual diagram presents a **centralized integration architecture** with **Salesforce** at its core.



Figure 1. SALESFORCE integrations with other systems

From the **central Salesforce logo**, arrows extend outward in four directions, each pointing to key systems integrated with Salesforce [1], [3]:

1. **ERP System** – Represents backend operations like finance, inventory, and order management.
2. **Marketing Platform** – Refers to tools like Mailchimp or HubSpot that handle campaign management and customer outreach.
3. **eCommerce Platform** – Represents platforms such as Shopify or Magento that manage online sales, orders, and customer data.
4. **Customer Support Tool** – Indicates systems like Zendesk or ServiceNow that track service requests and customer interactions.

The design emphasizes **data flow and system interconnectivity**, visually reinforcing how Salesforce acts as a hub for synchronizing business operations across departments [4], [9].

8. FUTURE OUTLOOK

The future of Salesforce integration lies in low-code/no-code tools, AI-driven automation (such as *Einstein GPT*), and increased adoption of event-driven architectures. As businesses adopt more cloud-based and hybrid environments, the need for seamless and scalable integrations will continue to grow.

CONCLUSION

Salesforce integration with other systems is a strategic approach to improving business processes. By enabling real-time data exchange, enhancing collaboration, and automating key functions, integration helps organizations stay competitive in an increasingly digital world. For companies seeking agility, responsiveness, and customer-centricity, a well-executed integration strategy is essential.

The detailed *case study* about the retail company, *StyleSphere*, which successfully integrated Salesforce with Shopify, NetSuite, and Mailchimp, is a good example. It demonstrates real-world benefits like increased engagement, faster order processing, and unified customer data.

REFERENCES:

1. Salesforce Developer Documentation – https://developer.salesforce.com/
2. MuleSoft Integration Patterns – https://www.mulesoft.com/
3. Gartner Magic Quadrant for CRM and iPaaS Tools – https://boomi.com/content/report/gartner-magic-quadrant-ipaas/
4. Salesforce Trailhead: Integration Basics – https://trailhead.salesforce.com/
5. Jitterbit Whitepapers on CRM Integration – https://www.jitterbit.com/category/crm-int egrations/
6. Forrester Wave on CRM Suites and Integration Platforms – https://www.forrester.com/blogs/announcing-the-crm-waves-and-how-to-use-them/
7. Dell Boomi Integration Best Practices – https://blog.aspiresys.com/integration/boomi/best-practices-for-managing-large-scale-boomi-integrations/
8. Salesforce AppExchange – https://appexchange.salesforce.com/
9. Salesforce Integration - https://www.coursera.org/specializations/salesforce-fundamentals.

SISTEME DIFERENȚIALE CUBICE CU UN FASCICUL DE DREPTE AFINE INVARIANTE ȘI LINIA DE LA INFINIT DE MULTIPLICITATEA DOI

CUBIC DIFFERENTIAL SYSTEMS WITH A BUNDLE OF THREE INVARIANT STRAIGHT LINES AND THE LINE AT INFINITY OF MULTIPLICITY TWO

CZU: 517.925.41 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.106**

Alexandru ȘUBĂ
ORCID: 0000-0003-3489-9619
E-mail: alexandru.suba@math.md
Institutul de Matematică și Informatică „Vladimir Andrunachievici”,
Universitatea de Stat din Moldova;
Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău, Republica Moldova

Vitalie PUȚUNTICĂ
ORCID: 0009-0009-0643-097X
E-mail: putunticavitalie@gmail.com
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova;
Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău, Republica Moldova

Summary.*In this paper we show that in the class of cubic differential systems with a bundle of three affine invariant straight lines and the line at infinity of multiplicity two each critical point with pure imaginary eigenvalues is of the center type if and only if the first Lyapunov quantity vanish. In all the cases of center the systems are Darboux integrable.*

Keywords*: cubic differential system, center problem, invariant straight line, multiplicity.*

I. INTRODUCERE

Considerăm sistemul cubic de ecuații diferențiale

$$\{\dot{x} = y + ax^2 + cxy + fy^2 + kx^3 + mx^2y + pxy^2 + ry^3 \equiv p(x,y), \dot{y} = -(x + gx^2 + dxy + by^2 + sx^3 + qx^2y + nxy^2 + ly^3) \equiv q(x,y), \quad (1)$$

coeficienții căruia se presupun numere reale și $(k,l,m,n,p,q,r,s) \neq 0$. Vom presupune că (1) nu este degenerat, adică $gcd\ gcd\ (p,q) = 1$, și la infinit n-are mai mult de patru puncte critice, i.e. $k(x,y) = sx^4 + +(k+q)x^3y + (m+n)x^2y^2 + (l+p)xy^3 + ry^4 \not\equiv 0$.

În dependență de valorile coeficienților punctul critic $(0,0)$ este pentru sistemul (1) ori de tip centru, ori de tip focar. Astfel, apare *problema centrului,* adică a determinării acelor condiții asupra coeficienților lui (1) încât $(0,0)$ să fie de tip centru. Este bine cunoscut că sistemul (1) are în $(0,0)$ centru dacă și numai dacă, mărimile Liapunov $L_1, L_2, \dots, L_n, \dots$, corespunzătoare lui $(0,0)$, se anulează (vezi [1-5]). Menționăm, că mărimile Liapunov reprezintă niște polinoame de coeficienții lui (1). La fel, în originea sistemului de coordonate avem centru dacă (1) are în $(0,0)$ integrală primă analitică sau factor integrant analitic.

Sistemul (1) omogenizat arată astfel

$$\{\dot{x} = yZ^2 + (ax^2 + cxy + fy^2)Z + kx^3 + mx^2y + pxy^2 + ry^3 \equiv P(x,y,Z), \dot{y} = -\left(xZ^2 + (gx^2 + dxy + by^2)Z + sx^3 + qx^2y + nxy^2 + ly^3\right) \equiv Q(x,y,Z).$$

Introducem notațiile:

$$X_\infty = P(x,y,Z)\frac{\partial}{\partial x} + Q(x,y,Z)\frac{\partial}{\partial y} \text{ și } E_\infty = P(x,y,Z)\cdot X_\infty(Q) - Q(x,y,Z)\cdot X_\infty(P).$$

Polinomul E_∞ are forma

$$E_\infty = C_2(x,y) + C_3(x,y)Z + C_4(x,y)Z^2 + \dots + C_8(x,y)Z^6,$$

unde $C_j(x,y), j = 2,3,\dots,8,$ sunt polinoame în x și y. De exemplu, $C_2(x,y) = k(x,y)\cdot C_{21}(x,y)$, unde

$$C_{21}(x,y) = (kq - ms)x^4 + 2(kn - ps)x^3y + (3kl + mn - pq - 3rs)x^2y^2 + 2(lm - qr)xy^3 + (lp - nr)y^4.$$

Se zice că pentru (1) linia de la infinit $Z = 0$ are *multiplicitatea* $\nu\nu$ dacă au loc relațiile $\{C_2(x,y) \equiv 0, \dots, C_\nu(x,y) \equiv 0, C_{\nu+1}(x,y) \not\equiv 0\}$ sau, altfel spus, $\nu - 1$ este cel mai mare număr pozitiv încât $Z^{\nu-1}$ împarte polinomul E_∞.

Curba algebrică $f(x,y) = 0, f \in C[x,y]$, (funcția $f = \frac{g}{h}$, $g,h \in C[x,y]$) se numește *invariantă* (*factor exponențial*) pentru (1) dacă există așa polinom $K \in C[x,y]$ de grad nu mai mare ca doi încât are loc identitatea

$$\frac{\partial f}{\partial x}\cdot p(x,y) + \frac{\partial f}{\partial y}\cdot q(x,y) \equiv f(x,y)K(x,y) \qquad (2)$$

$\forall (x,y) \in R^2$ $(\forall (x,y) \in R^2 \backslash \{(x,y)|h(x,y) = 0\})$. În caz particular, dreapta $L \equiv Ax + By + C = 0, A,B,C \in C$, se numește invariantă, dacă există așa polinom $K \in C[x,y]$ încât

$$A \cdot p(x,y) + B \cdot q(x,y) \equiv (Ax + By + C) \cdot K(x,y)\ \forall (x,y) \in R^2.$$

Vom spune că sistemul diferenţial (1) este *Darboux integrabil*, dacă el are integrală primă $F(x,y)$ (factor integrant $\mu(x,y)$) de forma $f_1^{\sigma_1} f_2^{\sigma_2} \cdots f_\tau^{\sigma_\tau}$, unde $f_j, j = 1,2,\dots,\tau,$ sunt o totalitate de curbe algebrice invariante şi factori exponenţiali, iar $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_\tau$ sunt numere din C nu toate egale cu zero concomitent.

Studierii sistemelor diferenţiale cubice ce au linia de la infinit de anumită multiplicitate le sunt consacrate lucrările [6-11]. În această lucrare vom arăta că pentru sistemele cubice (1) ce au un fascicul de trei drepte afine invariante şi pentru care linia de la infinit e de multiplicitatea nu mai mică ca doi punctul critic $(0,0)$ e de tip centru.

II. INVARIANŢA LA ROTAŢII A POLINOMULUI C_{21}

Efectuând în (1) transformarea de rotaţie

$$X = x\cos\varphi + y\sin\varphi, Y = -x\sin\varphi + y\cos\varphi, \quad (3)$$

obţinem sistemul diferenţial

$$\{\dot{X} = Y + AX^2 + CXY + FY^2 + KX^3 + MX^2Y + PXY^2 + RY^3, \dot{Y} = -\big(X + GX^2 + DXY + BY^2 + SX^3 + QX^2Y + NXY^2 + LY^3\big), \quad (4)$$

unde

$$A = a\cos^3\varphi + (c-g)\cos^2\varphi\sin\varphi - (d-f)\cos\varphi\sin^2\varphi - b\sin^3\varphi, C = c\cos^3\varphi - (2a+d-2f)\cos^2\varphi\sin\varphi$$
$$F = f\cos^3\varphi - (b+c)\cos^2\varphi\sin\varphi + (a+d)\cos\varphi\sin^2\varphi - g\sin^3\varphi,$$
$$K = k\cos^4\varphi + (m-s)\cos^3\varphi\sin\varphi + (p-q)\cos^2\varphi\sin^2\varphi - (n-r)\cos\varphi\sin^3\varphi - l\sin^4\varphi, M = m\cos^4\varphi - (3k-2p+q \quad (5)$$

Remarca 1. *Expresiile pentru coeficienţii* B, D, G, L, N, Q, S *ai sistemului (4) se obţin respectiv din expresiile de mai sus ale lui* A, C, F, K, M, P, R *dacă în ultimele se efectuează substituţiile*

$$a \leftrightarrow b, c \leftrightarrow d, f \leftrightarrow g, k \leftrightarrow l, m \leftrightarrow n, p \leftrightarrow q, r \leftrightarrow s, \varphi \to -\varphi.$$

Considerăm polinomul în X şi Y:

$$\tilde{C}_{21}(X,Y) = (KQ - MS)X^4 + 2(KN - PS)X^3Y + (3KL + MN - PQ - 3RS)X^2Y^2 +$$
$$+2(LM - QR)XY^3 + (LP - NR)Y^4.$$

Înlocuind în $\tilde{C}_{21}(X,Y)$ expresiile lui $K, L, M, N, P, Q, R, S, X$ şi YY (vezi (5), Remarca 1 şi (3)), obţinem în variabilele x, y şi coeficienţii k, l, m, n, p, q, r, s ai sistemului iniţial (1) polinomul $C_{21}(x,y)$. Aceasta şi înseamnă că în virtutea sistemului (1) polinomul $C_{21}(x,y)$ este invariant la transformările de rotaţie a planului fazic.

III. CONDIȚIILE DE EXISTENȚĂ CONCOMITENTĂ A FASCICULULUI DE DREPTE INVARIANTE AFINE ȘI A LINIEI DE LA INFINIT DE MULTIPLICITATEA DOI

Ținând cont că $C_2(x,y) = k(x,y) \cdot C_{21}(x,y)$ și de presupunerea că $k(x,y) \not\equiv 0$, linia de la infinit va avea pentru sistemul (1) multiplicitatea doi, dacă se verifică în x și y identitatea

$$C_{21}(x,y) \equiv 0.$$

Fie $M_0(x_0, y_0)$ punctul de intersecție al unui fascicul de drepte afine L_j. Indiferent dacă dreptele L_j sunt toate reale sau printre ele sunt și efectiv complexe, punctul M_0 are coordonatele reale. Printr-o rotație a planului de faze putem face ca M_0 să coincidă cu punctul $(0,1)$ de pe axa ordonatelor. Având în vedere că această axă nu este pentru sistemul diferențial (1) invariantă și de perspectiva că dreptele fasciculului sunt invariante, devine clar că se cere ca oricare dreaptă a fasciculului să fie descrisă de ecuația $L \equiv y - Sx - 1 = 0.$

În [1, p. 48] se aduce următorul set de condiții

$$a = 1, f = -2, k = g, n = -d - 1, l = -b, p = b - c, r = 1, s = 0 \quad (6)$$

pentru ca sistemul (1) să aibă un fascicul din trei drepte invariante de forma $L = y - Sx - 1$, unde S verifică ecuația

$$S^3 - cS^2 + (m - d - 1)S + g + q = 0. \quad (7)$$

Discriminantul ecuației (7) este

$$\Delta = c^2(m-d-1)^2 - 4(m-d-1)^3 + 4c^3(g+q) - 18c(m-d-1)(g+q) - 27(g+q)^2.$$

Dacă $\Delta \neq 0$, atunci ecuația (7) are trei rădăcini distincte S_1, S_2, S_3 și, prin urmare, sistemul (1) are un fascicul din trei drepte distincte $L_j = y - S_j x - 1, j = 1,2,3.$

Ținând cont de invarianța identității $C_{21}(x,y) \equiv 0$ la rotații și la omotetii, pentru a obține cele dorite este de-ajuns ca să rezolvăm identitatea dată în condițiile (6), adică

$$gqx^4 - 2(d+1)gx^3y - (3bg + (d+1)m + (b-c)q)x^2y^2 - 2(bm+q)xy^3 -$$
$$-(b(b-c) - d - 1)y^4 \equiv 0$$

sau

$$gq = 0, g(d+1) = 0, 3bg + (d+1)m + (b-c)q = 0, bm + q = 0,$$
$$b(b-c) - d - 1 = 0.$$

Soluțiile acestui sistem de egalități, împreună cu (6), ne conduc la următoarele două serii de condiții

$$a = 1, b = 0, d = -1, f = -2, k = g, l = 0, n = 0, p = -c, q = 0, r = 1, s = 0; \quad (8)$$

$$a = 1, d = b^2 - bc - 1, f = -2, g = 0, k = 0, l = -b, n = b(c - b), p = b - c,$$

$$q = -bm, r = 1, s = 0, b \neq 0. \quad (9)$$

Așa dar, pentru ca sistemul (1) să aibă linia de la infinit de multiplicitatea doi și un fascicul din trei drepte invariante afine ($\Delta \neq 0$) este necesar și suficient ca să se verifice una din condițiile (8), (9).

IV. PROBLEMA CENTRULUI

Teoremă. *Orice sistem diferențial cubic de forma (1) ce are un fascicul de trei drepte afine invariante și pentru care linia de la infinit e de multiplicitatea nu mai mică ca doi are în originea de coordonate* $(0,0)$ *punct critic de tip centru dacă și numai dacă, se anulează prima mărime Liapunov. În toate cazurile de centru sistemul este Darboux integrabil.*

Demonstrație. În condițiile (8) ecuația (7) arată astfel

$$S^3 - cS^2 + mS + g = 0, \quad (10)$$

iar în condițiile (9) ea capătă forma

$$(S - b)(S^2 + (b - c)S + m) = 0. \quad (11)$$

Presupunând în (10) că $\Delta \neq 0$ și că S_1, S_2, S_3 sunt rădăcinile distincte ale lui (10), atunci produsul dreptelor invariante $L_j = y - S_j x - 1, j = 1,2,3,$ ne duce la expresia

$$\phi(x, y) = -1 - cx + 3y - mx^2 + 2cxy - 3y^2 + gx^3 + mx^2y - cxy^2 + y^3.$$

Ușor se verifică că în condițiile (8) funcția $\mu(x, y) = \frac{1}{\phi(x,y)}$ este factor integrant de tip Darboux analitic în $(0,0)$ și, prin urmare, punctul critic e de tip centru.

Examinăm acum condițiile (9). În ele prima mărime Liapunov arată astfel $L_1 = b(-1 + b^2 - bc + m)$. Ținând cont că $b \neq 0$, egalitatea $L_1 = 0$ ne dă $m = bc - b\hat{}2 + 1$. Atunci, sistemul (1) are dreptele invariante $L_1 = y - bx - 1, L_j = y - S_j x - 1, j = 2,3,$ unde S_j verifică ecuația $S^2 + (b - c)S + bc - b^2 + 1 = 0,$ conica $\Psi(x, y) = 1 + (b^2 - bc - 2)y + (b^2 - bc - 1)(bx - y)y$ și factorul exponențial $f_e = e^{(y-bx)}$. Acum se poate construi un factor integrant pentru sistemul (1) și, anume, $\mu(x, y) = \frac{L_1}{L_{23}\Psi}$, unde $L_{23} = L_1 \cdot L_2 = 1 + (c - b)x - 2y + (1 - b^2 + bc)x^2 + (b - c)xy + y^2.$
Menționăm, că în expresia lui $\mu(x, y)$ nu figurează factorul exponențial f_e.

Deoarece în spațiul coeficienților sistemului (1) mulțimea coeficienților sistemelor cu centru în $(0,0)$ este închisă urmează că $(0,0)$ va fi centru și atunci când discriminantul Δ se anulează.

Teorema este demonstrată.

REFERINȚE:

1. COZMA, D. *Integrability of cubic systems with invariant straight lines and invariant conics*. Știința, Chișinău, 2013. 240 p. ISBN 978-9975-67-906-0.
2. LYAPUNOV, A.M. *The general problem of the stability of motion*. Gostekhizdat, Moscow, 1950 (în rusă).
3. ROMANOVSKI, V.G., SHAFER, D.S. *The center and cyclicity problems: a computational algebra approach.* Boston, Basel, Berlin: Birkhäuser, 2009. 330 p. ISBN 978-0-8176-4726-1.
4. SIBIRSKY, C.S. *Algebraical invariants of differential equations and matrices.* Kishinev: Shtintsa, 1976. 268 p.
5. ȘUBĂ, A. On the Lyapunov quantities of two-dimensional autonomous system of differential equations with a critical point of center or focus type. In: *Bulletin of Baia Mare University (România). Mathematics and Informatics.*1998, vol. 13, no. 1-2, p.153-170.
6. LLIBRE, J., VULPE, N. Planar cubic polynomial differential systems with the maximum number of invariant straight lines. In: *Rocky Mountain J. Math*. 2006, vol. 36, no. 4, p. 1301-1373.
7. ȘUBĂ, A. Center problem for cubic differential systems with the line at infinity of multiplicity four. *Carpathian J. Math*.. 2022, vol. 1, p. 217-222.
8. ȘUBĂ, A. Centers of cubic differential systems with the line at infinity of maximal multiplicity. *Acta et Commentationes*. *Exact and Natural Sciences*. 2022, no. 2(14), p.38-46.
9. ȘUBĂ, A., TURUTA, S. Solution of the problem of the center for cubic differential systems with the line at infinity and an affine real invariant straight line of total algebraic multiplicity five. *Bulletin of ASM. Mathematics*. 2019, vol. 90, nr. 2, p. 13-40.
10. ȘUBĂ, A. VACARAȘ, O. Cubic differential systems with an invariant straight line of maximal multiplicity. *Annals of the University of Craiova*, Mathematics and Computer Science Series. 2015, v. 42(2), p. 427--449.
11. ȘUBĂ, A., VACARAȘ, O. Center problem for cubic differential systems with the line at infinity and an affine real invariant straight line of total multiplicity four. *Bukovinian Math. Journal.* 2021, v. 9, no. 2, p. 1-17. ISSN: 2309-4001.

N.B. *Cercetările au fost parțial elaborate în cadrul subprogramelor USM: 011303 "SATGED" (primul autor) și 010603 „Metode Fizico-chimice de Cercetare și Analiză" (al doilea autor).*

IMPACTUL TEHNOLOGIILOR AR ÎN PROMOVAREA ÎNVĂȚĂRII PROFUNDE ÎN CONTEXTE EDUCAȚIONALE MULTILINGVE

THE IMPACT OF AR TECHNOLOGY IN PROMOTING DEEP LEARNING IN MULTILINGUAL EDUCATIONAL CONTEXTS

CZU: 004.9:37.02:811.1 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.107**

Inga ȚIȚCHIEV
ORCID: 0000-0002-0819-0414
E-mail: inga.titchiev@math.usm.md
Institutul de Matematică şi Informatică „Vladimir Andrunachievici”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Olesea CAFTANATOV
ORCID: 0000-0003-1482-9701
E-mail: olesea.caftanatov@math.usm.md
Institutul de Matematică şi Informatică „Vladimir Andrunachievici”, Universitatea de Stat din Moldova

Lucía AMORÓS-POVEDA
ORCID: 0000-0001-8207-9864
E-mail: lamoros@um.es
ISEN Centro Universitario, Universidad de Murcia, Spain

Summary. *This paper investigates the potential of augmented reality (AR) as both an educational material and a pedagogical method for promoting deep language learning, with a particular focus on the acquisition of idiomatic expressions and vocabulary in multilingual contexts. he main objective is to conduct a comparative analysis of two AR-based educational initiatives implemented in Spain and the Republic of Moldova, aiming to identify convergences and differences in user perception and application effectiveness. A mixed-methods approach was employed, combining quantitative data (questionnaires applied to a sample of over 100 students) with qualitative insights (open-ended feedback and SWOT analysis). Key indicators evaluated include user satisfaction, task clarity, perceived usefulness, design preferences, and the degree of interactivity.Findings reveal a high level of user satisfaction in both educational settings, with participants considering the AR applications useful or very useful for learning idiomatic expressions. Chi-square analysis showed a statistically significant correlation between gender and satisfaction among Moldovan participants. Cultural differences in design preferences were also observed: Spanish users favored multilingual idiomatic content, while Moldovan users preferred markers with realistic visual themes and animations. Common challenges included technical compatibility issues and a lack of advanced interactive features Based on these findings, the study proposes recommendations for the*

development of scalable, accessible, and culturally responsive AR applications for education, with strong potential for extension into complementary STEM disciplines.

Keywords*: AR, deep language learning, idiom, user satisfaction.*

INTRODUCERE

Realitatea Augmentată (AR) a câștigat rapid popularitate ca metodă inovatoare de predare și învățare, datorită potențialului său [1] de a combina informația virtuală cu realitatea fizică, generând un context interactiv și imersiv.

Utilizarea tehnologiilor de Realitate Augmentată (AR) în învățarea profundă a limbilor este un subiect tot mai des tratat în cercetările din ultimii ani, deoarece oferă posibilități de învățare contextualizată și multisenzorială, crește retenția și favorizează învățarea semnificativă prin faptul că elevii înțeleg sensul, contextul și nuanțele culturale. Implicarea activă în procesul de învățare crește motivația, iar adaptarea la ritmul propriu și preferințele elevului oferă sprijin pentru învățarea profundă a limbilor. Totuși, aceste beneficii trebuie susținute de o abordare pedagogică empatică, care să depășească simpla memorare și să dezvolte implicarea autentică a elevilor.

Expresiile idiomatice sunt dificil de învățat prin metode tradiționale, deoarece necesită o înțelegere nu doar lingvistică, ci și culturală și metaforică. AR facilitează această învățare prin scenarii vizuale concrete și interactive, care susțin înțelegerea figurativă și aplicarea în contexte reale. De asemenea, oferă oportunități valoroase pentru învățarea limbilor minoritare sau cu resurse educaționale limitate.

În această lucrare se efectuează o analiză comparativă a două inițiative educaționale bazate pe Realitate Augmentată (AR), dezvoltate în Spania și Republica Moldova. Ambele proiecte vizează dezvoltarea și evaluarea unor aplicații AR care sprijină învățarea limbilor, în special a expresiilor idiomatice multilingve, prin utilizarea de carduri augmentate, scenarii și activități de tip gamificat.

MATERIAL ȘI METODĂ

În ultimele două decenii, realitatea augmentată (AR) a devenit un instrument educațional [2, 3] tot mai valoros, situându-se la intersecția dintre resursă digitală și strategie pedagogică. În domeniul învățării limbilor străine, AR facilitează un mediu interactiv în care expresiile, idiomurile sau conceptele abstracte pot fi explorate contextual, prin medii vizuale ancorate în realitatea fizică a elevului. Ca **material educațional**, AR include obiecte de învățare digitale – carduri augmentate, etichete vizuale, scenarii interactive, elemente multimedia suprapuse peste realitate fizică – care transformă învățarea lingvistică într-o experiență multisenzorială prin extinderea conținutului clasic. Se obține astfel un material care sprijină învățarea vizuală, auditivă și kinestezică, transformând informația lingvistică în experiență tangibilă.

Ca **metodă didactică**, AR susține o abordare activă, constructivistă, bazată pe învățare prin descoperire, simulare și personalizare. Această dublă funcție face din realita-

tea augmentată un element-cheie în sprijinirea învățării profunde și semnificative, mai ales în contextul achiziției idiomurilor, expresiilor figurative și vocabularului de nivel avansat.

Pentru identificarea impactului tehnologiei AR, limitărilor și provocărilor cu care aceasta se confruntă [5, 6] au fost dezvoltate și testate aplicații mobile pentru învățarea limbilor străine în baza tehnologiilor de recunoașterea vocală [7], aplicația de identificare a expresiilor idiomatice în baza obiectelor scanate [4], și o aplicație destinată învățării omonimelor, toate utilizează carduri augmentate și abordarea bazată pe markere.

Metoda AR aplicată în dezvoltarea aplicațiilor de mai sus, presupune scanarea cardurilor fizice (Figura 1) și activarea conținutului digital asociat, Figura 2 (animații, explicații audio, exemple traduse), oferind astfel o experiență de învățare activă și contextualizată.

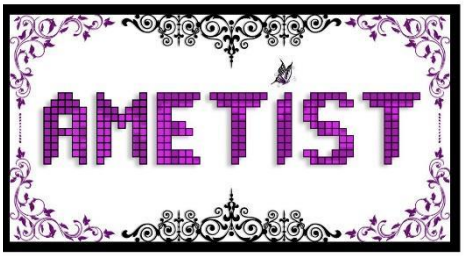


Figura 1. Exemplu de card fizic

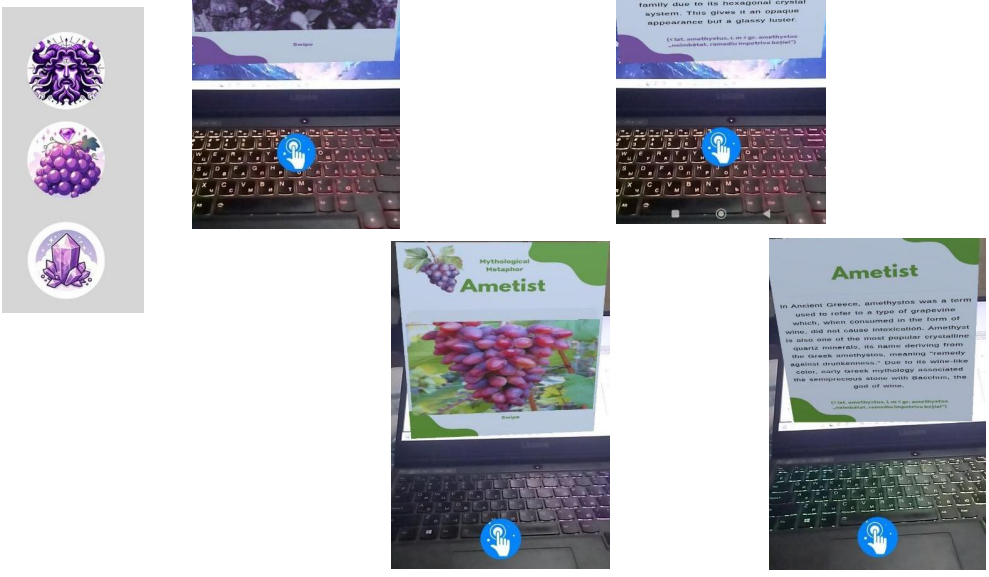


Figura 2. Exemplu de conținut digital asociat

Această abordare justifică utilizarea AR ca soluție pedagogică viabilă în dezvoltarea competențelor lingvistice profunde, cu accent pe comprehensiunea idiomatică și aplicarea expresivă în situații reale.

Studiul inițiativelor educaționale menționate mai sus, folosește o metodologie mixtă, analizând date cantitative și calitative provenite din instrumente de evaluare aplicate în ambele țări. Rezultatele arată convergențe semnificative în ceea ce privește satisfacția utilizatorilor, dar și diferențe contextuale legate de design, interactivitate și compatibilitate tehnologică. În concluzie sunt formulate recomandări pentru dezvoltarea de aplicații AR educaționale mai accesibile, personalizabile și scalabile.

Instrumentele de colectare a datelor aplicate în Spania au inclus două chestionare specifice:

- **AR Flashcards Questionnaire**, bazat pe cinci dimensiuni de evaluare multimedia, ce a urmărit claritatea, atractivitatea, utilitatea și satisfacția percepută;
- **Idiosyncrasies Survey**, care a solicitat participanților să asocieze idiomuri cu trăsături culturale și lingvistice (culori, emoții, comportamente), în scopul identificării variațiilor idiomatice și interculturale.

Prelucrarea datelor s-a realizat prin codificare, clasificare și tabulare, cu sprijinul instrumentelor AI (GPT-4 și NotebookLM) pentru analiza calitativă a răspunsurilor deschise.

În cazul inițiativei din Republica Moldova, datele au fost colectate prin sondaje de opinie și analizate statistic (teste Chi-pătrat) pentru corelații între variabile precum genul, utilitatea percepută, claritate și satisfacție. A fost realizată și o analiză SWOT pentru a evidenția punctele forte și zonele de îmbunătățire. Accentul fiind pus pe experiența utilizatorului, preferințele vizuale și impactul cultural al materialelor AR.

Prin integrarea celor două studii, această cercetare oferă o perspectivă transnațională asupra aplicabilității AR în educația lingvistică, evidențiind atât convergențe metodologice și rezultate comune, cât și diferențe legate de design, platforme și sensibilități culturale.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultate principale obținute după analizarea datelor colectate au evidențiat:

- **Satisfacție ridicată a utilizatorilor**: În ambele contexte, majoritatea utilizatorilor au evaluat aplicațiile ca fiind „utile” sau „foarte utile”;
- **Valoarea educațională a aplicațiilor**: Utilizatorii au apreciat claritatea sarcinilor și sprijinul oferit în învățarea expresiilor idiomatice și metaforice. AR a fost considerată eficientă în contextualizarea noțiunilor abstracte.
- **Atractivitatea scenariilor și cardurilor**: Elementele multimedia (animații, exemple 3D, traduceri interactive) au fost menționate drept cele mai atractive părți ale aplicațiilor.
- **Diferențe semnificative**: analiza Chi-pătrat (Moldova) a arătat corelații semnificative între gen și satisfacție, dar nu între claritate și satisfacție;

- **Limitări comune**: dificultăți de compatibilitate (iOS), dimensiunea aplicațiilor, lipsa interactivității avansate;
- **Oportunități pentru extindere**: personalizare lingvistică, adaptare cross-platform, utilizarea AR pentru disciplină integrată (STEM + limbă).

CONCLUZII

Tehnologiile AR în învățarea limbilor străine oferă un mix optim de imersiune, interactivitate și personalizare, sprijinind nu doar memorarea superficială, ci o asimilare profundă, semnificativă a limbii și culturii țintă.

Studiul de față confirmă potențialul semnificativ al realității augmentate (AR) ca resursă educațională inovatoare în sprijinirea învățării profunde a limbilor, în special în ceea ce privește achiziția vocabularului și a expresiilor idiomatice. Prin combinarea informației digitale cu mediul fizic, AR creează contexte de învățare multisenzoriale, interactive și personalizabile, care contribuie atât la creșterea retenției, cât și la înțelegerea semnificațiilor figurative și culturale ale limbii.

Rezultatele comparative obținute din cele două inițiative analizate – din Spania și Republica Moldova – evidențiază un nivel ridicat de satisfacție în rândul utilizatorilor, dar și variații legate de preferințe vizuale, design interactiv și compatibilitate tehnologică. În ambele cazuri, aplicațiile AR au fost percepute ca utile și eficiente, însă provocările legate de interactivitate, platforme suportate și volum de conținut indică necesitatea unor îmbunătățiri continue.

Convergențele dintre cele două studii subliniază caracterul transversal și scalabil al realității augmentate în educație, cu aplicații relevante atât în domeniul limbilor. În același timp, diferențele identificate sugerează că dezvoltarea de materiale AR educaționale trebuie să țină cont de contextul cultural, profilul utilizatorilor și particularitățile curriculare locale.

În concluzie, realitatea augmentată se dovedește a fi nu doar un material educațional interactiv, ci și o metodă didactică viabilă pentru învățarea profundă a limbilor. Recomandările formulate includ dezvoltarea de aplicații AR mai accesibile, cu scenarii variate, adaptabile pe mai multe platforme, personalizabile în funcție de nevoile lingvistice și culturale ale utilizatorilor, și integrate în mod coerent în procesul educațional formal.

REFERINȚE:

1. ALZAHRANI, N. M. “Augmented Reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts,” Applied Sciences, vol. 10, no. 16, pp. 56–60, 2020.
2. ARDINY, H. & KHANMIRZA, E. “The role of AR and VR technologies in education developments: Opportunities and challenges,” in 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM), (Tehran, Iran), 2018, pp. 482–487. DOI: https://doi.org/10.1109/ICRoM.2018.8657615.

3. CABERO, J. & BARROSO, J. (2016). The educational possibilities of Augmented Reality. Journal of New Approaches in Educational Research, 5(1), 44-50. doi: 10.7821/naer.2016.1.140
4. CAFTANATOV, O., MALAHOV, L., TITCHIEV, I., TALAMBUTA, D., CAGANOVSCHI, D., MINCU, E. Metaphor Mastery: Augmented Reality Dictionary Flashcards for E-Learning. The 18th International Conference on Linguistic Resources and Tools for Natural Language Processing, December 11-14, 2023, Brasov, Romania. Proceedings of ConsILR-2023, 63–72.
5. PAL, R. A. B. & DR. ADE, M. "Applications and Challenges of Augmented Reality in Education Sector: A Report," International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), vol. 10, no. 7, 2022, https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.45183.
6. TITCHIEV, I., CAFTANATOV, O., and TALAMBUTA, D. "Improving augmented reality experiences for application development," in Proceedings of Workshop on Intelligent Information Systems: WIIS2023, (Chisinau, October 19-21, 2023), 2023, pp. 224–232. ISBN 978-9975-68-492-7.
7. ȚIȚCHIEV, I.; CAFTANATOV, O.; CAGANOVSCHI, D.; TĂLĂMBUȚĂ, D., Exploring Interactive 3D Object Interaction by Integrating Augmented Reality and Voice Control. In: International Conference dedicated to the 60th anniversary of the foundation of Vladimir Andrunachievici Institute of Mathematics and Computer Science (IMCS-60): Proceedings. October 10–13, 2024, Chisinau, Republic of Moldova, pp. 379-386. ISBN 978-9975-68-515-3.

N.B.*Proiect program de stat cifrul 011301, Sisteme informatice bazate pe Inteligența Artificială.*

SURFACE MORPHOLOGY STUDY OF AZOPOLYMER-BASED NANOCOMPOSITES AS A FUNCTION OF NANOPARTICLE CONCENTRATION USING AFM

STUDIUL MORFOLOGIG AL SUPRAFEȚEI NANOCOMPOZITELOR PE BAZĂ DE AZOPOLIMERI ÎN FUNCȚIE DE CONCENTRAȚIA DE NANOPARTICULE UTILIZÂND MICROSCOPIA DE FORŢĂ ATOMICA (AFM)

CZU: 535.42:535.317.2:539.23 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.108**

Elena ACHIMOVA
ORCID: 0000-0002-6017-1085
E-mail: eachimova@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Vladimir ABAȘKIN
ORCID: 0000-0003-2814-2695
E-mail: vabaskin48@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Veronica CAZAC
ORCID: 0000-0002-7309-3821
E-mail: veronica.cazac@ifa.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Constantin LOȘMANSCHII
ORCID: 0000-0002-6990-7482
E-mail: constantinlindemann@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Vladislav BOTNARI
ORCID: 0009-0003-9955-0087
E-mail: vladislav.botnari@ifa.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Nanocompozitele pe bază de azopolimeri dopate cu nanoparticule metalice atrag un interes tot mai mare datorită potențialului lor de utilizare în aplicații fotonice și optice difractive. În acest studiu, au fost sintetizate și depuse pe substraturi transparente pelicule*

subțiri de azopolimeri care încorporează nanoparticule de aur cu concentrații variate. Morfologia suprafeței și nanostructura straturilor compozite au fost investigate utilizând Microscopia de Forță Atomică (AFM). Analiza topografică a evidențiat modificări semnificative în rugozitatea suprafeței, uniformitatea și organizarea structurală, în funcție de concentrația de nanoparticule utilizată. Rezultatele experimentale demonstrează că doparea cu nanoparticule influențează procesele de auto-organizare și capacitățile de modulare a suprafeței peliculelor de azopolimer. Aceste constatări contribuie la optimizarea compoziției și fabricării materialelor nanocompozite pentru dispozitive avansate fotoreactive și holografice.

Cuvinte-cheie: *nanocompozite pe bază de azopolimeri, microscopie de forță atomică, topografia suprafeței, nanoparticule de aur, pelicule subțiri, materiale fotonice, concentrație de nanoparticule.*

1. INTRODUCTION

Azopolymers are a class of photosensitive materials capable of undergoing reversible structural changes upon exposure to light, primarily due to the *trans–cis* photoisomerization of azobenzene units. This property makes them suitable for a wide range of optical applications, including the fabrication of diffractive optical elements (DOEs), data storage media, and surface patterning technologies. In recent years, the integration of metal nanoparticles, especially gold nanoparticles (AuNPs), into azopolymer matrices has opened new avenues for enhancing the optical and morphological properties of these materials. Such nanocomposites combine the photosensitivity of azopolymers with the plasmonic and light-scattering properties of metal nanoparticles, leading to improved sensitivity, surface relief formation, and refractive index modulation [1].

One of the key aspects of the development and optimization of azopolymer-based nanocomposites is understanding the effect of nanoparticle concentration on the surface morphology of the resulting films. Surface topography plays a significant role in determining the efficiency of optical modulation and diffraction, particularly in holographic applications [2]. AFM is a powerful technique for evaluating nanometer-scale surface features, offering detailed insight into the structural organization and roughness variations of thin films.

This study focuses on investigating the influence of various concentrations of gold nanoparticles embedded in azopolymer films on their surface morphology using AFM. By analyzing the topographic parameters and structural features of these nanocomposites, we aim to correlate the nanoparticle content with surface modulation behavior, contributing to the rational design of light-responsive nanostructured materials.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Synthesis of azopolymer and gold nanoparticles

The azopolymer used in this study, poly-n-epoxypropylcarbazole_SY3 (PEPC-co-Sy3), was synthesized via a reflux method (fig. 1).

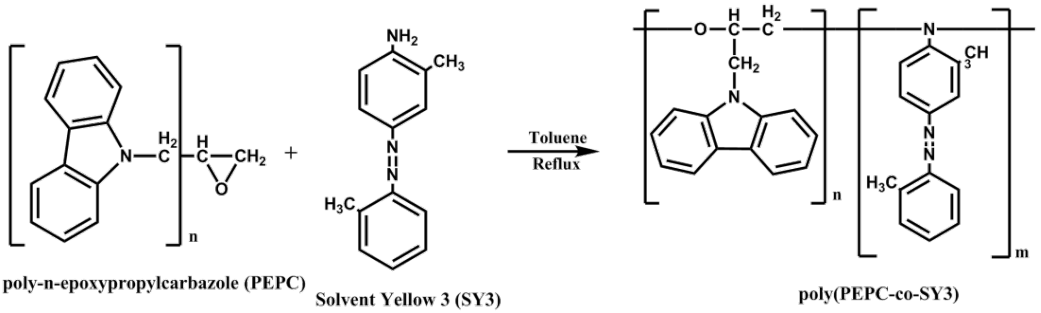


Figure 1. Synthesis of PEPC-coSY3 azopolymer

The chemical reaction shown in the previously presented scheme proceeds under reflux at a temperature of 220°C in the solvent toluene, for 8 hours, with continuous stirring at 500 rpm using a magnetic stirrer to ensure solution homogeneity and prevent sedimentation of the azo dye [3]. For the synthesis, the polymer matrix poly-N-epoxypropylcarbazole (PEPC) – 2 g, and the azo dye Solvent Yellow 3 (SY3) – 0.6 g were used, both substances being dissolved in 12 mL of toluene.

Spherical gold nanoparticles, spheres with a diameter 25 nm (Au-NPs), was purchased on Sigma Aldrich. The colloidal Au-NPs solution was added to the PEPC-co-SY3 solution in toluene in various volumetric ratios to achieve uniform volume doping.

2.2 Nanocomposite films deposition

Thin films of PEPC-co-SY3 and PEPC-co-SY3 doped with Au-NPs were deposited onto pre-cleaned glass substrates using the rod-coating method (fig. 2), chosen for its simplicity and reproducibility in forming uniform thin layers over large areas. The coating was performed under ambient conditions, followed by solvent evaporation at room temperature for 24 hours [4].



Figure 2. Thin Film Deposition Setup –Rod-Coater:
1 – polished rod; 2 – azopolymer thin film; 3 – glass substrate; 4 – drop of azopolymer solution. Arrow shows substrate movement by step motor

2.3 Holographic recording setup

The holographic recording was performed using a two-beam interference configuration based DPSS laser emitting at a wavelength of 473 nm with an output power of 100 mW. The wavelength was chosen to match the absorption of the azopolymer at thicknesses of about 1 μm, ensuring efficient photoisomerization throughout the film thickness. Two coherent beams from the same laser source were directed onto the film surface at symmetric angles of incidence relative to the normal to the sample surface, creating an interference pattern with a spatial period of approximately 7 μm (fig. 3) [5].

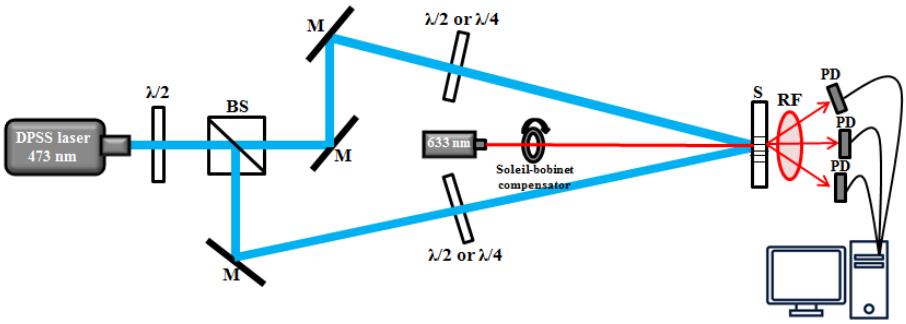


Figure 3. Optical Setup for Polarization Holographic Recording

The setup consists of a DPSS laser (473 nm, 100 mW), a beam splitter that divides laser beam into two coherent beams, and retardation plates (λ/2 and λ/4) used to achieve various beam polarization states configurations. A nonactinic laser diode wavelength of 633 nm, vertical polarization with a power of 1 mW is employed to monitor the kinetics of DE, along with a photodiodes currents-based data acquisition and storage system. The DE of the recorded grating is determined using the following relation:

$$\eta = \frac{I_1}{(I_1+I_{-1}+I_0)} * 100\% \quad (1)$$

where:

- I_0 – intensity in the 0th diffraction order,
- I_1 – intensity in the +1st diffraction orders ,
- I_{-1} - intensity in the -1st diffraction orders.

Polarization control was achieved using a combination of linear polarizers and quarter-wave plates, allowing the formation of gratings under both linearly and circularly polarized light. An exposure time was 30 minutes. All recordings were performed under ambient conditions.

2.4 Atomic force microscopy (AFM)

To investigate the surface topography of azopolymer nanocomposites, Atomic Force Microscopy (AFM) was employed in non-contact mode, a high-resolution technique that enables detailed surface examination without damaging the sample. In this mode, the AFM tip oscillates near the surface of the sample without making direct contact. The van der Waals interactions between the tip and the sample surface cause changes in the cantilever's resonance frequency, which are used to reconstruct a three-dimensional image of the surface topography.

This method is particularly suitable for characterizing thin films and sensitive materials such as azopolymers, as it minimizes the risk of mechanical deformation during measurement. The acquired data provide precise information about surface roughness, the height of photoinduced relief structures, and the morphological distribution of features formed under polarized light exposure [6].

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The obtained azopolymer PEPC-co-SY3 with concentration of 30% mass ratio of azodye was doped with different colloidal Au-NPs solution for obtaining nanocomposite films with different concentration of Au-NPs.

To measure the thickness of the azopolymer applied on a transparent substrate, a scratch must be made on the surface of the azopolymer layer, reaching down to the substrate. This creates a step with well-defined boundaries. As a result, the interference pattern is obtained with a displacement, allowing the thickness of the azopolymer layer to be distinguished relative to the substrate. This approach enables measurement of the azopolymer layer thickness using the principles of interferometry. The MII-4 interferometric microscope was equipped with a Logitech HD Webcam C310 (1280x720 px). This setup allowed for clear image acquisition using the specialized OpticMeter software, which is based on mathematical model for determining the minima and maxima of the interferograms obtained via the least squares method [7]. Thicknesses of the sample is shown in table 1.

Table 1. Thickness of obtained nanocomposites samples

Sample	PEPC-co-SY3(30%) 0 µgAu	PEPC-co-SY3(30%) 0,4 µgAu	PEPC-co-SY3(30%) 0,8 µgAu	PEPC-co-SY3(30%) 1,2 µgAu
Thickness, nm	2120	998	990	946

In the figure 3 the kinetics of DE with linear (PP) states of polarizations of recording beams are presented for nanocomposites of various Au-NPs concentrations. Note that DE of azopolymers is dependent on the thickness of samples [4, 5]. Therefore, DE was recalculated to a thickness of 1 µm. When exposed to PP polarized lights (fig. 3) the polarization of reading beam was linear vertical polarization.

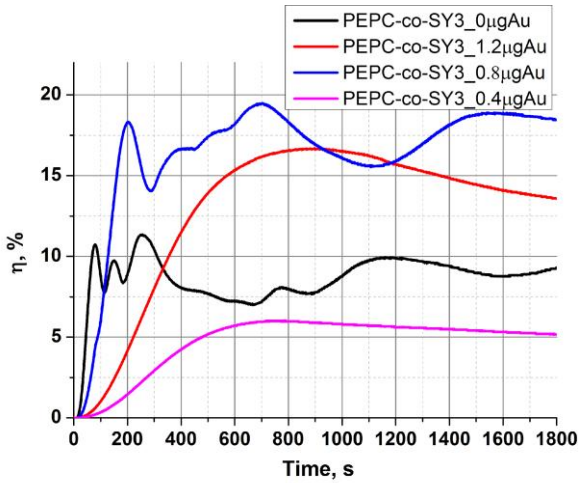
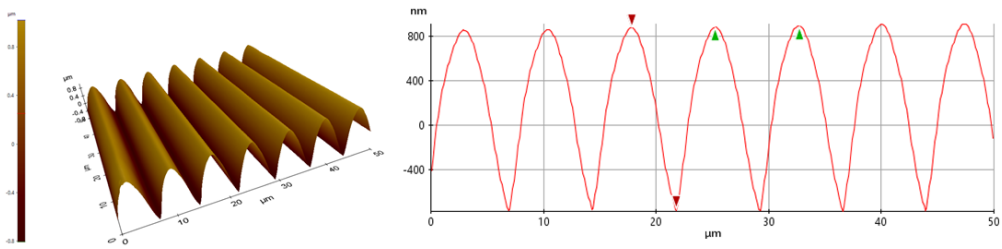


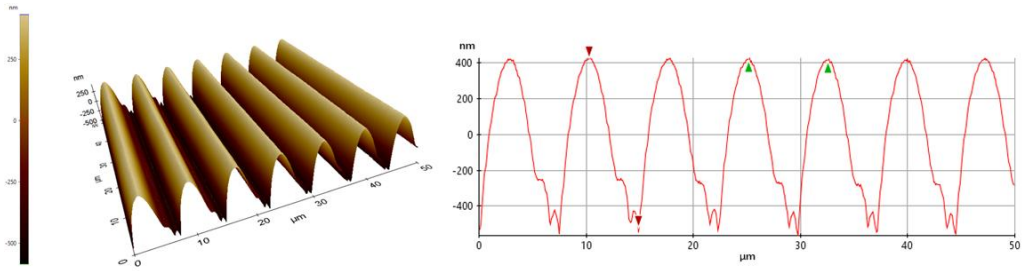
Figure 4. Diffraction efficiency during recording in PP polarized light

Following the exposure of the azopolymer samples to polarized light, atomic force microscopy (AFM) analysis revealed significant changes in surface topography. Non-contact mode imaging showed the formation of well-organized sinusoidal relief structures, typically associated with light-induced surface deformation. These surface patterns reflect the molecular reorganization driven by trans–cis–trans photoisomerization of azobenzene under polarized illumination. Variations in the amplitude and periodicity of the relief, depending on the sample composition (pure polymer versus nanocomposite), indicate a direct influence of nanoparticle doping on the photo-orientation efficiency and mass transport behavior within the material.

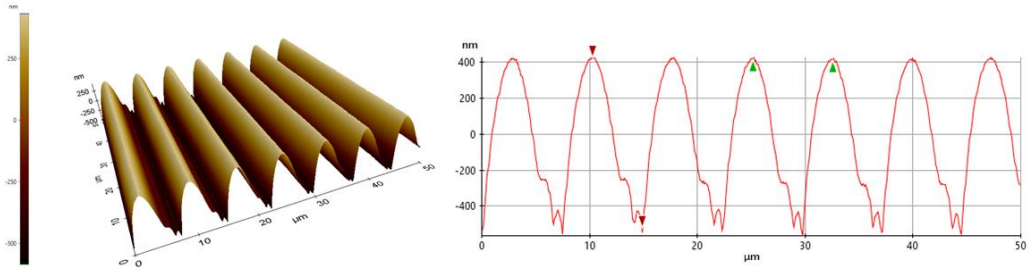
The analyzed samples consisted of thin films of the PEPC-co-SY3 azopolymer, both in pure form and doped with gold nanoparticles at various concentrations. The results revealed the formation of sinusoidal surface diffraction gratings, whose periodicity and amplitude were found to vary depending on the sample composition and exposure conditions shown in fig 5.



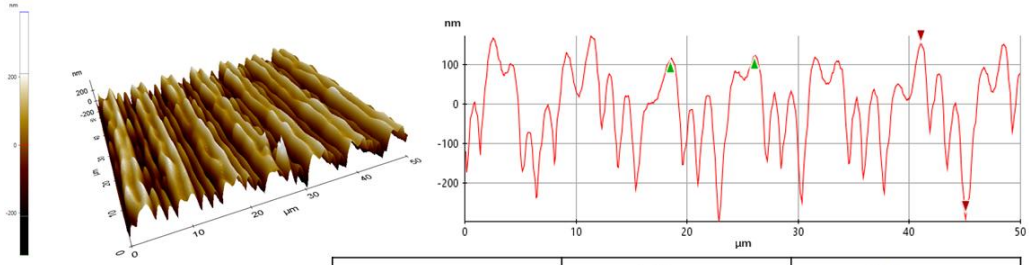
	ΔX, μm	ΔY, μm
Red	3.947	1.632
Green	7.401	0.014



	ΔX, µm	ΔY, nm
Red	4.605	945.826
Green	7.401	6.109



	ΔX, µm	ΔY, nm
Red	4.605	945.826
Green	7.401	6.109



	ΔX, µm	ΔY, nm
Red	4.030	433.015
Green	7.566	8.244

Figure 5. 3D Surface relief gratings and transversal sections for:
a) PEPC-co-SY3_0mgAu, b) PEPC-co-SY3_0.4mgAu, c) PEPC-co-SY3_0.8mgAu, d)PEPC-co-SY3_1,2mgAu

AFM measurements revealed significant differences in the depth of the light-induced surface relief depending on the composition of the analyzed samples. Azopolymer

films doped with gold nanoparticles exhibited much more pronounced surface structuring compared to the undoped film.

In particular, the sample doped with 0.8 μg of gold showed a surface relief depth of approximately 95% of the total film thickness, indicating an enhanced efficiency of the light-induced mass transport process. This behavior is attributed to the local enhancement of the electromagnetic field near the metallic nanoparticles, which promotes molecular reorganization within the azopolymer matrix. In contrast, the undoped sample exhibited a relief depth of approximately 75% of the total film thickness, reflecting a less efficient mass transport process in the absence of nanoparticle doping.

CONCLUSIONS

- Azopolymer-based nanocomposites doped with gold nanoparticles exhibit significant changes in surface topography depending on the concentration of the dopant.
- AFM analysis revealed an increase in surface roughness and relief depth with higher AuNP concentrations, indicating active interaction between nanoparticles and the polymer matrix during photoisomerization.
- Well-defined and uniformly distributed surface structures were observed at optimal concentrations, enhancing the material's suitability for direct recording of diffractive optical elements.
- Excessively high concentrations of nanoparticles may lead to partial aggregation, negatively affecting film uniformity and optical performance, highlighting the importance of concentration optimization.
- AFM proved to be an essential technique for detailed characterization of morphological changes, providing valuable insights for controlling and tuning surface properties for optoelectronic applications.

REFERENCES:

1. Loșmanschii, C., Achimova, E., Abaskin, V., Mesalchin, A., Prisacar, A., Botnari, V. Optical Properties and Photoinduced Anisotropy of PEPC-co-SY3 Nanocomposite. In: Sontea, V., Tiginyanu, I., Railean, S. (eds) 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2023. IFMBE Proceedings, vol 91. Springer, (2023).
2. Berberova N., Nazarova D., Nedelchev L., Blagoeva B., Kostadinova D., Marinova V., Stoykova E., Photoinduced variation of the Stokes parameters of light passing through thin films of azopolymer-based hybrid organic/inorganic materials, J. In: Phys. Conf. Ser. 700, (2016).
3. Nieborek M., Szmigiel D., Komorowski P., Siemion A., Konieczkowska J., Schab-Balcerzak E., Kozanecka-Szmigiel A. Investigating the link between a

layer thickness and surface relief depth in an azo poly(ether imide), In: Scientific Reports 15:716, (2025).
4. Losmanschii, C., Achimova, E., Abashkin, V., Botnari, V., Meshalkin, A. Photoinduced Anisotropy in Azopolymer Studied by Spectroscopic and Polarimetric Parameters. In: Tiginyanu, I., Sontea, V., Railean, S. (eds) 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. IFMBE Proceedings, vol 87, pp. 314-321, Springer, (2022).
5. Achimova, E., Abaşkin, V., Loşmanschii, C., Meşalchin, A., Botnari, V. Efectul concentrației azocolarantului asupra modificării birefringenței fotoinduse. In: Instruire prin cercetare pentru o societate prosperă, Ediția 10, Vol.1, pp. 283-285. Chișinău. (2023). p. 283-285.
6. Nguyen-Tri, P.; Ghassemi, P.; Carriere, P.; Nanda, S.; Assadi, A.A.; Nguyen, D.D. Recent Applications of Advanced Atomic Force Microscopy in Polymer Science: A Review. Polymers 2020, 12, pp. 1142.

COCRYSTAL 2,4-DIAMINO-6-PHENYL-1,3,5-TRIAZINE 4-HYDROXYBENZOIC ACID DIHYDRATE: CRYSTAL STRUCTURE AND HIRSHFELD SURFACE ANALYSIS

COCRYSTALUL 2,4-DIAMINO-6-FENIL-1,3,5-TRIAZINĂ – ACID 4-HIDROXIBENZOIC DIHIDRAT: STRUCTURĂ CRISTALINĂ ȘI ANALIZĂ A SUPRAFEȚEI HIRSHFELD

CZU: 532.783:548.3 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.109**

Victor AVDEEV
ORCID: 0009-0002-2499-4591
E-mail: mrvikrd59@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Marina S. FONARI
ORCID:0000-0002-2508-5368
E-mail: fonari.xray@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Paulina BOUROSH
ORCID: 0000-0002-3418-531X
E-mail: bourosh.xray@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Cocristalizarea concomitentă a 2,4-diamino-6-fenil-1,3,5-triazinei (Tr) cu acidul 4-hidroxibenzoic (HBA), în prezența tetrafluoroboratului de cobalt(II), a condus la formarea unui nou cocrystal organic cu compoziția Tr·HBA·2H₂O. Compusul studiat cristalizează în sistemul ortorombic, în grupul spațial necentrosimetric Pna2₁, cu Z = 4. Parametrii celulei unitare sunt: a = 12,291(3) Å, b = 6,9706(6) Å, c = 19,5957(15) Å, V = 1678,9(5) Å³. Analiza structurală prin difracție de raze X pe cristale unice a confirmat neutralitatea tuturor speciilor interconectate în cristal printr-un sistem extins de legături de hidrogen. Au fost identificate și descrise modele supramoleculare heteromerice de tip acid (HBA) – bază (Tr), acid – apă, precum și modele homomerice de tip bază (Tr) – bază (Tr), toate bazate pe legături de hidrogen. Distribuția interacțiunilor intermoleculare a fost evaluată cu ajutorul analizei suprafeței Hirshfeld, care a indicat impactul esențial al interacțiunilor ce implică atomi de hidrogen în structura cristalină.*

Cuvinte-cheie: *acid carboxilic, cocrystal, structură cristalină, 2,4-diamino-6-fenil-1,3,5-triazină, analiza suprafeței Hirshfeld.*

INTRODUCTION

1,3,5-Triazine and its derivatives are continuing to be in focus of materials science and crystal engineering as useful supramolecular agents. In particular, 2,4-diamino-6-

phenyl-1,3,5-triazine (Tr) possesses a wide range of useful pharmacological properties [1, p.40; 2, p.3301]. The availability of two amino-groups attached to the Tr molecular scaffold provides the possibility for diverse hydrogen bonding, while their combination with triazine moiety represents good opportunity for crystal engineering of coordination networks [3, p.3568] and organic cocrystals [4, p. 4813]. The reported examples disclosed the Tr cocrystals with pharmaceuticals [5, p. 4 in SI] and biologically relevant compounds [6], and the improvement of pharmacological profile of the final cocrystals in comparison with the individual components was demonstrated in some cases [7, p. 9]. The choice of the suitable co-ligand /coformer is crucial in crystal design. In this study an attempt was undertaken to combine two pharmacologically relevant molecules, 2,4-diamino-6-phenyl-1,3,5-triazine (Tr), and 4-hydroxybenzoic acid (HBA) in one coordination network. 4-Hydroxybenzoic acid is reported to have antibacterial, antifungal, antialgal, antimutagenic, and estrogenic activity [8]. It is also used as trapping agent to study hydroxyl radical generation during cerebral ischemia, and as preservative in drugs, cosmetics, pharmaceuticals, and food [9, p. 109]. On the other hand, HBA molecule bears the functional groups favorably arranged for the supramolecular crystal design [10, p. 1094]. Serendipitously, the novel organic cocrystal, $TrHBA{\cdot}2H_2O$ (Tr=2,4-diamino-6-phenyl-1,3,5-triazine; HBA=4-hydroxybenzoic acid) that combines two pharmacophores was obtained whose crystal structure is reported for the first time.

MATERIALS AND METHODS

All reagents were purchased from commercial sources and used without further purification. X-ray single crystal data were collected at a room temperature on an Xcalibur E diffractometer equipped with a charge-coupled device (CCD) area detector and a graphite monochromator utilizing MoKα radiation (λ =0.71073 Å).

Synthesis of $Tr{\cdot}HBA{\cdot}2H_2O$

We weighed 0.0018 g (0.1 mmol) of 2,4-diamino-6-phenyl-1,3,5-triazine (Tr), 0.0013 g (0.1 mmol) of 4-hydroxybenzoic acid (HBA), and 0.0034 g (0.1 mmol) of cobalt (II) tetrafluoroborate hexahydrate. These were dissolved in 8 ml of CH_3CN and vigorously stirred at room temperature (20 °C) until completely dissolved. The solution was then placed in a sealed, PTFE-lined, stainless-steel autoclave and heated for three days at 90 °C, after which it was allowed to slowly cool to room temperature. After this, the solution was filtered, and light orange crystals gradually grew on the walls of the vessel over 5 days.

X-ray structure solution and refinement

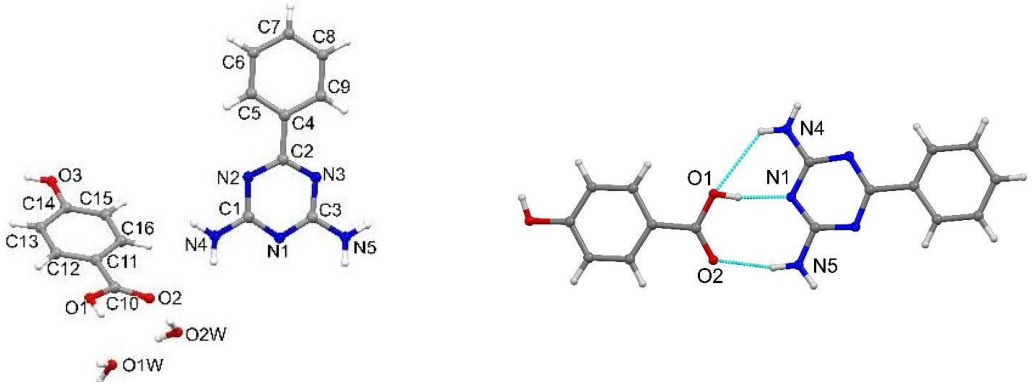
All calculations to solve the structure and to refine the model proposed were carried out with the programs SHELXS-2014 and SHELXL-2014 [13, p.6, 14, p.24]. The C-bound H-atoms were positioned geometrically and treated as riding atoms

using SHELXL default parameters with $U_{iso}(H) = 1.2U_{eq}(C)$; the N(O)-bound H-atoms were found from differential Fourier maps at the intermediate stages of the refinement and their positions were restrained during the refinement. Crystal data for compound Tr·HBA·2H_2O: $C_{16}H_{19}N_5O_5$, Mr = 361.36, orthorhombic, space group *Pna*2_1, *a* = 12.291(3), *b* = 6.9706(6), *c* =19.5957(15) Å; *V* =1678.9(5) A^3; *Z* = 4; D_{calc} = 1.430 g cm^{-3}; *F(000)* =760; μ = 0.109 mm^{-1}; R_1 = 0.0462, wR_2 = 0.0827 for 1172 independent reflections with $I > 2\sigma(I)$; R_1 = 0.0664, wR_2 = 0.0922 for all 1507 independent reflections, GOOF = 1.093. CIF file was deposited in Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) (https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/) with the CCDC deposition number 2457515.

RESULTS AND DISCUSSION

Crystal structure

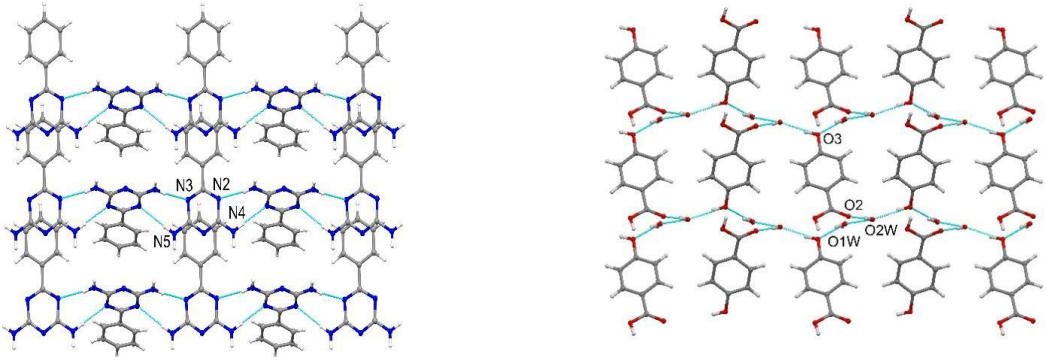
Cocrystal Tr·HBA·2H_2O belongs to the orthorhombic crystal system and crystallizes in the noncentrosymmetric *Pna*2_1 (No 33) space group, with *Z*=4. The asymmetric unit comprises four neutral species, one Tr, one HBA, and two water molecules (Fig. 2a). Both Tr-base and HBA-acid molecules have the geometries typical for these species in the neutral form. The lack of the acid-base proton transfer is confirmed by location of H-atoms in the close proximities of O(1) and O(3) atoms in the HBA molecule; those H-atoms were refined finally using the SHELXL constraints. The differentiation of the C-O bond distances in the carboxylic group which are O(1)-C(10) 1.312(8) Å and O(2)-C(10) 1.229(9) Å, also justifies in favour of neutrality of this molecule. The variation of the intramolecular C-N-C bond angles in the triazine cycle of Tr molecule occurs in a narrow range, C(3)-N(1)-C(1) 114.8(5) º, C(2)-N(2)-C(1) 113.4(6) º, C(2)-N(3)-C(3) 113.0(6) º, that is also typical for the neutral molecule. In the HBA molecule the carboxylic group is twisted out of the plane of the phenyl ring as indicated by the Ph/COOH interplanar angle of 12.0(8) º. In the Tr molecule the twisted angle between the phenyl and triazine cycles is equal to 7.1(2) º, thus indicating the small deviation from planarity. The availability of strong H-donors (-NH_2 and -OH groups) and strong H-acceptors (-C=O, O(H_2O) and >N) in the system explains the richness of intermolecular interactions in the forms of heteromeric and homomeric supramolecular synthons stabilizing the crystal structure [11, p. 4603]. The pairing of main components, Tr and HBA occurs *via* H-bonding triad in the form of two fused heterosynthons, very common amino-pyridine-carboxylic heterosynthon $R_2^2(8)$ [12 p. 130], and an auxiliary one, $R_2^2(7)$ (Fig. 2b, Table 1). This H-bonded triad provides planarity of the acid-base binary unit. The interplanar angle between two molecular scaffolds is of 3.01(8) º.



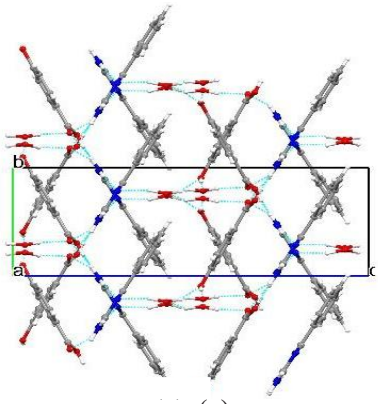
(a) (b)

Figure 1. a) Content of the asymmetric unit in the title compound
b) Tr-HBA association pattern

Besides, the Tr molecules are associated in the homomeric H-bonded chain running along the crystallographic *a*-axis via alternation of two similar twisted H-bonded $R_2^2(8)$ ring patterns (fig. 2a). Each Tr molecule acts as a double H-donor and a double H-acceptor (DDAA) within the homomeric chain. The Tr/Tr interplanar angle between the molecules in chain is equal to 59.05 º. These H-bonded …Tr…Tr… supramolecular chains pack in a zipper-like interdigitated mode forming the stacking walls parallel to the [0 0 1] crystallographic plane with an infinite 1D - stacking along the crystallographic *b*-axis between the overlapping triazine and phenyl cycles of the translated Tr molecules, the Cg(centroid Ph)…Cg(centroid Tr) separation being of 3.937 Å. Parallel to the homomeric Tr walls, the HBA and two-membered aqua cluster O1w-O2w form their own H-bonded supramolecular layer (fig. 2b) where water molecules mediate the neighbouring HBA molecules along the crystallographic *a*-axis, and HBA mediate water molecules along the crystallographic *b*-axis (fig. 2b).



(a) (b)



(c)

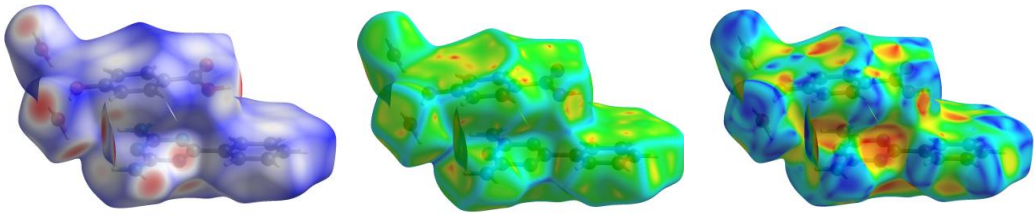
Figure 2. Fragments of crystal packing in the title cocrystal. a) combination of H-bonded and *π*-*π* self-association patterns for Tr; b) H-bonded layer of HBA and water molecules; c) view of crystal packing along the *a*-axis.

Table 1. Hydrogen bond distances (Å) and angles (°) in the title compound

D-H...A	d(H...A), Å	d(D...A), Å	∠(DHA), °	Symmetry transformation for acceptor
N(4)-H(4A)···O(1)	2.64	3.280(6)	132	*x, y*-1, *z*
N(4)-H(4A)···O(2)	2.51	3.061(7)	123	*x*-1/2, -*y*+1/2, *z*
N(4)-H(4B)···N(3)	2.20	3.058(7)	175	*x*-1/2, -*y*+1/2, *z*
N(5)-H(5A)···O(2)	2.07	2.910(6)	165	*x, y*-1, *z*
N(5)-H(5B)···N(2)	2.34	3.194(7)	174	*x*+1/2, -*y*+1/2, *z*
O(1)-H(1A)···N(1)	1.81	2.619(5)	172	*x*, *y*+1, z
O(3)-H(3A)···O(2W)	1.84	2.655(7)	170	*x*, *y*, *z*
O(1W)-H(1W)···N(2)	2.35	3.148(6)	155	-*x*-1/2, *y*-1/2, *z*-1/2
O(1W)-H(2W)···O(3)	1.96	2.803(7)	169	*x*, *y*, *z*
O(2W)-H(3W)···O(1W)	1.91	2.722(6)	155	*x*-1/2, -*y*-1/2, *z*
O(2W)-H(4W)···O(2)	2.08	2.946(7)	176	*x*-1/2, -*y*+1/2, *z*

Hirshfeld surface and 2D fingerprint plot analysis

The Hirshfeld surfaces and their associated 2D fingerprint plots for the cocrystal were calculated by taking the single-crystal X-ray data as input [15, p.1008] (fig. 3). The bright red spots on the d_{norm} surface indicate the existence of short intermolecular hydrogen bonds, O-H…O and N-H…O due to amino, hydroxyl groups and water molecules. The white area corresponds to the van der Waal interactions of the atoms identified as H…H interactions. The blue area indicates the neighbouring atoms which are too far to interact with each other. The orange spots indicate the C–H …π interactions (Fig. 3b, c). The 3D views show that HBA and Tr entities are in parallel planes corresponding to one another.



(a) (b) (c)

Figure 3. 3D Hirshfeld surfaces of the title cocrystal mapped with
a) d norm (min: -0.7668, mean: 0.3843, max:1.1187); b) Curvedness (min: -3.4198, mean: -0.9583, max: 0.8936); c) Shape index (min: -0.9938, mean: 0.2234, max: 0.9972)

The distribution of intermolecular interactions in the cocrystal is given in the 2D fingerprint plots summarizing all the available contacts and the specific ones (fig. 4). The H…H contacts show the largest contribution of 49.8%, the next most meaningful are the O…H / H …. O and N..H/H…N contacts with contributions of 19.3 and 11.7%, respectively rationalized as sharp neighbouring spikes in the bottom right and left regions of the fingerprint plots. The C...H/H…C close contacts of 11.7% are represented as a pair of wings in the upper part of the fingerprint plot, and comprise 11.7% of the total Hirshfeld surface. All the other, non-H interactions, were recorded with decreasing low percentage for C…C (3.5%), C…O/O…C (1.9%), C...N/N…C (1.5%) etc, indicated that hydrogen bonding was the main driving force in stabilizing this structure.

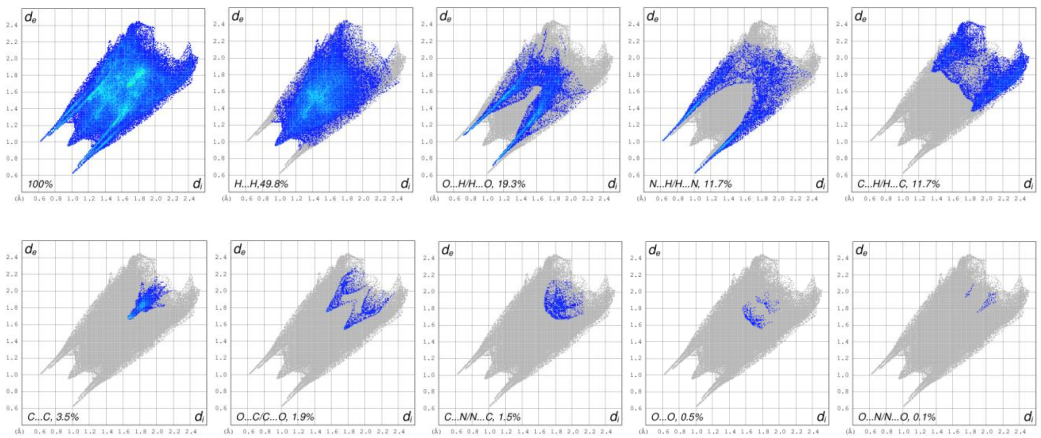


Figure 4. Two-dimensional fingerprint plots for the title compound with indication of percentage contribution of each specific group interactions

CONCLUSIONS

The cocrystal Tr·HBA·$2H_2O$ was obtained using solvent mediated crystallization method. The variety of hydrogen bonds, NH...O, OH...O, NH…N are the main driving forces that impact the crystal structure and are complemented by - stacking interactions between Tr and HBA planar scaffolds. Hirshfeld surface analysis gave the deeper inside in the quantitative distribution of intermolecular interactions in the crystal. The present study extends our knowledge about specific interactions and association patterns in the adducts of 2,4-diamino-6-phenyl-1,3,5-triazine with carboxylic acids. The study of the useful properties of this cocrystal system is in progress.

REFERENCES:

1. SINGLE, P., LUXAMI, V., PAUL, K. Triazine as a promising scaffold for its versatile biological behavior. In: *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2015. v.102, p.39-57. ISSN: 1768-3254.
2. ARYA, K.,DANDIA, A. Synthesis and cytotoxic activity of trisubstituted-1-,3,5-triazines. In: *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2007, nr.12, p. 3298-3304. ISSN 0960-894X.
3. HAO, H.-J. et al. Effect of Different Carboxylates on a Series of Ag(I) Coordination Compounds with Benzoguanamine Ligand. In: *Crystal Growth & Design.* 2011. nr. 8, p. 3564–3578. ISSN: 1528-7505.
4. DELORI, A., SURESH, E. and PEDIREDDI, V.R. Influence of molecular shape on the design and synthesis of supramolecular assemblies. In: *CrystEngComm*. 2013. nr.15, p. 4811–4815. ISSN 1466-8033.
5. DALPIAZ, A. et al. From Physical Mixtures to Co-Crystals: How the Coformers Can Modify Solubility and Biological Activity of Carbamazepine. In: *Molecular Pharmaceutics.* 2018, v.15, nr. 1, p. 268–278. ISSN 1543-8392. / (Supporting information, page 4).
6. MANZANO, B.R. et al. Multiple Hydrogen Bonds in the Self-Assembly of Aminotriazine and Glutarimide. Decisive Role of the Triazine Substituents 6-phenyl-2,4-diamino-1,3,5-triazine piperidine-2,6-dione. In: *Crystal Growth and Design.* 2008. v.8, p. 1585-1594. ISSN: 1528-7505.
7. ASHA, R. N. et al. Cocrystallization of 2,4-Diamino-6-phenyl-1,3,5-triazine with β-(phenylthio)propionic acid: Crystal structure, Hirshfeld surface, DFT studies and molecular docking. In: *Chemical Data Collections.*
8. MEHTA, J. et al. Para-hydroxy benzoic acid coformer enable enhanced solubility, dissolution, and antifungal activity of ketoconazole cocrystals. In: *Journal of Pharmaceutical Innovation*. 2023, 18, p. 1602-1615. ISSN 1939-8042.
9. MANUJA, R. et al. A Comprehensive Review on Biological Activities of P-Hydroxy Benzoic Acid and Its Derivatives. In: *International Journal of Pharma-*

ceutical Sciences Review and Research., 2013, v. *22*(2), nº 20, 109-115 (p.109) ISSN: 0976-044X.
10. MARQUEZ, J. et al. Exploiting Supramolecular Synthons in Cocrystals of Two Racetams with 4-Hydroxybenzoic Acid and 4-Hydroxybenzamide Coformers, In: *Chemistry*, 2023, v.5, n. 2, p.1089-1100. ISSN 2624-8549.
11. ETTER, M.C. Hydrogen Bonds as Design Elements in Organic Chemistry, In: *Journal of Physical Chemistry*, 1991, v. 95, n. 12, p. 4601–4610. ISSN 0022-3654.
12. SANDHU, B. et al. A series of crystalline solids composed of aminopyridines and succinic, fumaric, and sebacic acids. In: *Journal of Molecular Structure.,* 2013, v.1052, p.125-134, (page 130). ISSN 1872-8014.
13. SHELDRICK, G.M. A short history of SHELX. In: *Acta Crystallographica Section A.* 2008. A64, p. 112–122. ISSN: 2053-2733.
14. SHELDRICK, G.M. Crystal structure refinement with SHELXL. *Acta Crystallographica Section C.* 2015. C71, p. 3–8. ISSN: 2053-2296.
15. SPACKMAN, P.R. et al. CrystalExplorer: a program for Hirshfeld surface analysis, visualization and quantitative analysis of molecular crystals. In: *Journal of Applied Crystallography*. 2021. V. 54, p. 1006-1011. ISSN: 1600-5767.

Acknowledgements: *The authors are grateful for the subprogram 011202 „Design and fabrication of intelligent materials with advanced magnetic, adsorption, luminescent and biologically active properties” for support.*

DYNAMIC MEMORY IN C++: A DIDACTIC APPROACH

MEMORIA DINAMICĂ ÎN C++: O ABORDARE DIDACTICĂ

CZU: 004.424.74 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.110**

Iulia BORIS
ORCID: 0000-0003-4523-2182
E-mail: borisiulia@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Vadim SIRKELI
ORCID: 0000-0002-2479-4218
E-mail: vadim.sirkeli@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Denis NIKA
ORCID: 0000-0002-3082-3118
E-mail: dlnika@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Alocarea și dealocarea dinamică a memoriei reprezintă aspecte esențiale ale programării de sisteme, în special în limbaje fără colectare automată a gunoiului, precum C și C++. Studierea acestui subiect necesită din partea studenților nu doar dezvoltarea abilităților tehnice, ci și dobândirea unei înțelegeri profunde a principiilor de gestionare a resurselor, adresării memoriei și funcționării managerului de memorie al sistemului de operare. Acest articol prezintă recomandări metodologice care contribuie la simplificarea înțelegerii de către studenți a conceptelor legate de alocarea dinamică a memoriei. Sunt discutate tehnici eficiente de predare, orientate spre formarea unor competențe solide și prevenirea dificultăților frecvente în învățarea acestui subiect. Strategiile propuse sunt axate pe îmbunătățirea calității pregătirii studenților și pe cultivarea unei atitudini responsabile față de gestionarea resurselor sistemului.*

Cuvinte-cheie: *alocarea memoriei, operatorii new și delete, C++, educație în domeniul informaticii.*

1. INTRODUCTION

Teaching programming languages, especially system-level languages like C or C++ [1], requires particular attention to the topic of memory management [2-3]. In contrast to many high-level programming languages that provide automatic memory management and garbage collection (such as Python, Java, or Scala) [4-5], C++ gives the programmer full control over memory operations. While this control enables greater efficiency and flexibility, it also introduces a higher level of complexity and risk. Programmers must explicitly allocate and deallocate memory using specific operators, which requires

careful attention to detail and a solid understanding of how memory is structured and managed at a low level.

This manual approach to memory management is both one of C++'s greatest strengths and one of its primary learning obstacles. For students, especially those new to systems programming, the lack of automated memory handling can be daunting. Without a proper grasp of memory allocation principles, students are prone to making serious errors such as memory leaks, dangling pointers, double deletions, or undefined behavior due to accessing uninitialized memory.

A key focus within this area is the study of pointers and dynamic memory allocation operators *new* and *delete*. These operators allow the creation and destruction of objects on the heap, enabling more flexible program structures such as dynamic arrays, linked data structures, and complex object lifetimes. However, because these operations interact closely with the system's memory model, they are also a common source of bugs and logical errors in student code.

This topic is both theoretically rich and technically demanding. It requires students to understand abstract concepts such as memory regions (stack vs. heap), variable lifetime, object construction/destruction, and the *Resource Acquisition Is Initialization* (RAII) paradigm. Unfortunately, these ideas are often poorly understood or absorbed when taught without a strong pedagogical framework.

As a result, teaching memory management in C++ demands a well-structured methodological approach that introduces complexity gradually, reinforces learning through practical examples, and connects theoretical concepts with real-world programming practices. The key instructional considerations for effectively teaching memory management in C++ are discussed below.

2. METHODS

Effective system programming is impossible without an understanding of the fundamental principles of how an operating system works and how it interacts with the computer's hardware components. From this perspective, the topic of *dynamic memory allocation* is one of the most suitable subjects for demonstrating the importance of low-level programming principles. To enhance the comprehension of the material, it is recommended to take the following methodological aspects into account:

2.1. Sequence of Material Presentation

One of the common methodological mistakes is introducing dynamic memory allocation operators too early. Before being introduced to *new* and *delete*, students should have a solid grasp of the following fundamental concepts:

- variables and their scopes;
- stack and heap memory;
- differences between static, automatic, and dynamic memory;

- pointers and references;
- arrays and memory layout.

Only after these foundational topics are well understood does it make sense to proceed to the new and delete operators. It is also important to logically connect this topic with the concept of RAII (Resource Acquisition Is Initialization) as well as with constructors and destructors in classes. This way, students can understand not just the syntax but also the philosophy behind safe resource management.

2.2. Supporting Theory with Practical Analogies

To facilitate understanding of dynamic memory management, it is recommended to use analogies. For example:

Office and rental space: A variable on the stack is like a desk in your office: you use it while working. Dynamic memory is like renting a space: you need to sign a contract (call *new*) and remember to cancel it (*delete*), otherwise you'll keep paying for unused space (a memory leak).

Memory as a warehouse: Pointers are "addresses of storage units", and *new* is a "storage request form": the system tells you exactly where the space has been allocated.

Such metaphors not only make the material more accessible but also help students retain the core principles of memory management.

2.3. Common Challenges and Typical Student Mistakes

In practice, when studying memory management in C++, students often encounter the following difficulties:

- *Misunderstanding the difference between delete and delete[]*

Students are often confused about when to use each operator. It is essential to clearly explain the distinction between a single object and an array of objects in the context of dynamic memory allocation.

- *Memory leaks*

In the early stages, students frequently forget to deallocate memory or do so incorrectly. Therefore, it is important to demonstrate memory-checking tools from the very beginning (ASan, Visual Leak Detector, WinDbg etc.).

- *Use of uninitialized or dangling pointers*

This is one of the most dangerous issues. It's beneficial to show examples where data corruption is visible and explain the concept of undefined behavior.

- *Double deletion of the same memory region.*

Such errors may not manifest immediately, so it is important to emphasize best practices when working with pointers after delete, such as resetting them to *nullptr*.

It is methodologically sound as well to deliberately model such mistakes in early assignments to help students understand their consequences.

2.4. Use of Tools and Debug Environments

Teaching C++ should cover debugging and memory analysis tools as core components. Particularly useful are:

- *Valgrind* for detecting memory leaks and access errors.
- *Address Sanitizer (ASan)*: a built-in memory error detection tool available in *clang* and *gcc*.
- *GDB* or *Visual Studio Debugger* for tracking pointer values and inspecting memory contents.

Integrating these tools into the learning process not only helps prevent errors but also builds professional-grade development skills.

2.5. Gradual Increase in Task Complexity

Practical assignments related to memory management must follow a gradual progression in difficulty:

- Basic memory allocation and deallocation for a single object.
- Working with arrays in dynamically allocated memory.
- Passing pointers to functions.
- Writing simple wrappers (e.g., a class that allocates memory in the constructor and releases it in the destructor).
- Creating custom "*smart pointers*" with basic control features (without using the STL).
- Debugging and analyzing errors in someone else's code.

This kind of progression allows students to develop solid skills without being overwhelmed.

2.6. Connection with Modern C++ and STL

While teaching "manual" memory management remains important, it is equally essential to introduce students to modern alternatives:

- using std::unique_ptr, std::shared_ptr, and std::make_unique;
- benefits of automatic memory management and RAII-based design patterns;
- templates and containers such as std::vector and std::string, which manage memory internally.

In this way, students will gain an understanding not only of the low-level mechanics but also of modern development practices, which is especially important in the context of contemporary C++ (C++11 and beyond).

4. CONCLUSION

Dynamic memory allocation represents a foundational yet complex subject within the study of system-level programming, particularly when working with C++. Due to

its inherent intricacies and the risk of subtle programming errors, it poses significant challenges for students. However, it is also a crucial area for developing a deep understanding of how programs interact with system resources. Effective instruction in this topic requires a comprehensive approach that emphasizes conceptual clarity in memory architecture, pointer behavior, object lifecycles, and secure management of resources.

From a didactic perspective, the teaching of dynamic memory allocation benefits significantly from a carefully structured approach that prioritizes the logical sequencing of foundational topics, the integration of practical metaphors and analogies, and the use of professional debugging and analysis tools. The gradual escalation of task complexity, coupled with explicit modeling of common mistakes, allows students to internalize not only how dynamic memory works but why certain practices are safer and more efficient than others.

This article highlights key strategies for teaching dynamic memory allocation in C++, including a structured progression from basic concepts to *new* and *delete* operators, use of analogies, addressing common student errors, integrating debugging tools, gradually increasing task complexity, and introducing modern C++ features such as smart pointers. These methods aim to develop both conceptual understanding and practical skills while promoting responsible programming practices.

REFERENCES*:*

1. VATICONE, O. C++ System Programming Cookbook. Birmingham: Packt Publishing, 2022. 442 p. ISBN 9781801075104.
2. ROY, P. C++ Memory Management: Write leaner and safer C++ code using proven memory-management techniques. Birmingham: Packt Publishing, май 2025. 434 p. ISBN 978-1-80512-980-6.
3. FRANEK, F. Memory as a Programming Concept in C and C++. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 316 p. ISBN 0-521-52043-6.
4. VAN PUTTEN, M., KENNEDY, S. Java Memory Management: A Comprehensive Guide to Garbage Collection and JVM Tuning. Birmingham: Packt Publishing, November 2022. 146 p. ISBN 978-1-80324-889-9.
5. SEVERANCE, P. (ed.) Python in a Nutshell. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006. Chapter: "Garbage Collection". ISBN 0-596-00188-6.
6. GEEKSFORGEEKS. New and Delete Operators in C++ for Dynamic Memory. In: GeeksforGeeks. [Online]. Available at: https://www.geeksforgeeks.org/new-and-delete-operators-in-cpp-for-dynamic-memory/
7. MAO, L. *Dynamic Memory Management in C++*. In: Lei Mao's Log Book. 2022. Available at: https://leimao.github.io/blog/CPP-Dynamic-Memory-Management/

Acknowledge: *The authors acknowledge the financial support from the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova (research program no. 011208).*

DESPRE CĂILE OPTIME DE ASIGURARE A DEZVOLTĂRII DURABILE A REPUBLICII MOLDOVA

ON THE OPTIMAL WAYS TO ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 502.174.3(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.111**

Iurie BOȘNEAGA
ORCID: 0009-0003-5908-1247
E-mail: iubosneaga@gmail.com
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *The problem of optimization is an eternal one for civilization, with particular acuteness in the period of transition to sustainable development. To optimize this transition, the thermodynamic approach is applied. The main conclusions are presented, which emerge from the developed Sustainable Development Concept. Under the conditions of applying traditional technologies, renewable energy sources are relatively limited in the Republic of Moldova. Accordingly, it is demonstrated that for the period of transition to sustainable development, the use of nuclear energy is an imperative for the Republic of Moldova. It is argued that photovoltaic installations in the conditions of the Republic of Moldova categorically should not occupy arable land - urbanized areas are preferable for them - buildings, roads, parking lots, etc. It is emphasized that the subject of biomass should also be treated with great caution. It is demonstrated that "energy plantations" are absolutely inefficient for the Republic of Moldova. Cogeneration with the use of secondary energy resources is welcome for all methods of generating electricity. In particular, secondary energy resources should be used to carry out energy-intensive low-temperature dehydration processes - with an important synergistic impact.*

Keywords: *optimization, transition to sustainable development, renewable energy sources, use of nuclear energy, cogeneration, low-temperature dehydration.*

CONSIDERENTE DE ORDIN STRATEGIC

Realizarea dezvoltării durabile este un imperativ global fără alternativă. Dezvoltarea este total dependentă (condiţionată, dirijată) de transformările de energie. Respectiv, Strategia Energetică reprezintă miezul şi esenţa Concepţiei Dezvoltării Durabile, din care se deduc soluţiile mai concrete [1]. Transformările de energie, care au loc (sunt operate) în economie, se supun legilor Termodinamicii, mai exact Termodinamicii sistemelor neechilibrate [2]. După cum se ştie, fundamentul Termodinamicii este Legea Universală de Conservare a Energiei (care nu are excepţii). Acest fapt incontestabil garantează veridicitatea concluziilor expuse mai jos.

Noi considerăm că din punct de vedere termodinamic dezvoltarea (progresul) a fiecărui organism (sistem) aparte şi a civilizaţiei în întregime poate fi numeric caracterizat

prin creşterea (increment) a energiei libere ΔG (energiei lui Gibbs). Adaosul cumulativ a acestei energii libere poate fi prezentat ca suma a doi termeni:

$$\Delta G = \Delta G_{fossil} + \Delta G_{renewable} \quad (1)$$

Primul termen ΔG_{fossil} reflectă sporul energiei libere a sistemului termodinamic datorită consumului de energie din surse fosile (tradiţionale, nerenovabile) şi poate fi definit ca unul "extensiv" (nesustenabil, care nu corespunde dezvoltării durabile). Al doilea termen $\Delta G_{renewable}$ corespunde creşterii "intensive" (sustenabile, care asigură dezvoltarea durabilă) a energiei libere - din surse renovabile, netradiţionale (radiaţia solară directă şi derivatele ei principale - energia hidro, eoliană, bio). Energia nucleară, de asemenea, se clasifică ca una sustenabilă - datorită rezervelor enorme a acesteia.

Combustibilele fosile nu pot asigura dezvoltarea durabilă - ele sunt epuizabile, plus folosirea lor este indispensabilă de imanente efecte negative de mediu. Gradul de sustenabilitate poate fi caracterizat numeric de "indice sustenabilităţii" S:

$$S = \Delta G_{renewable} / (\Delta G_{fossil} + \Delta G_{renewable}) \quad (2)$$

Evoluţia globală în timp a acestui indice este prezentată în Fig.1

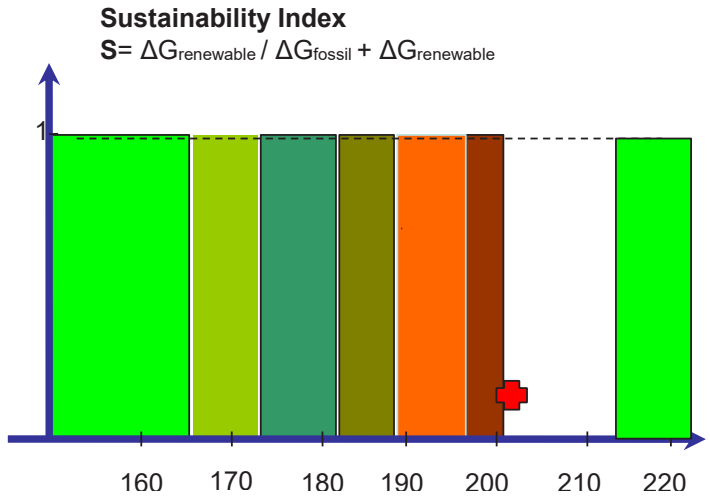


Figura 1. Indice sustenabilităţii pentru dezvoltarea civilizaţiei - trend în timp. Linia întreruptă arată trendul dorit, dar nu şi asigurat, deocamdată. De notat faptul, că un impact pozitiv asupra dezvoltării durabile a produs în a.2015 *Paris Climate Conference* - prin adoptarea *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC COP 21),* completată de Paris *Sustainable Innovation Forum 2015*

Indice sustenabilităţii dramatic scade în decurs de ultimele două secole. Prăbuşirea civilizaţiei în această "groapă", fără nici o îndoială, ar fi fatală. Respectiv, schimbarea trendului din negativ în unul pozitiv (revenirea la dezvoltarea durabilă) reprezintă o pro-

vocare (challenge) pentru întreaga omenire, o problemă cu trei aspecte de importanţă vitală - asigurarea cu energie, alimente şi stabilizarea climatului.

Folosirea variaţiei energiei libere ca criteriu sustenabilităţii deschide calea pentru aprecierea numerică a dezvoltării (progresului). Dacă derivata totală a energiei libere G este negativă sau egală cu zero - economia este în regres (chiar dacă indicii tradiţionali – PIB, etc. sunt în creştere); respectiv când derivata totală a energiei libere este pozitivă (dG/dt>0) - avem creştere.

O concluzie importantă, care reiese din Concepţia Dezvoltării Durabile elaborată pentru Republica Moldova (în care actualmente domină sectorul agrar) - această dezvoltare durabilă nu poate fi asigurată inclusiv fără aplicarea pe scară largă a conservării produselor alimentare prin deshidratare la temperaturi joase. Prin ponderea sa mare în balanţa energetică procesele de deshidratare influenţează decisiv durabilitatea dezvoltării. Din mai multe argumente în favoarea concluziei date (de ordin economic, ecologic, social) vom evidenţia, în special, reducerea cheltuielilor (absolut inevitabile!) de transport. Astăzi, în condiţiile economiei excesiv centralizate, pentru prelucrarea mai multor produse agricole se efectuează transportarea, în cea mai mare măsură (peste aproximativ 80%), practic a apei (produsele lactate, sucurile de toate tipuri, pasta de tomate, industria zahărului, etc.). În condiţiile ponderii mari în preţul de cost al transportării (iar transportul frigorific consumă în exclusivitate combustibilul calitativ, scump) ,,raza rentabilităţii" tehnologiilor susnumite este mică, respectiv producerile enumerate devin nerentabile fără o descentralizare rezonabilă. Prelucrarea prealabilă locală (descentralizată), care prevede conservarea prin deshidratare la temperaturi joase, asigură reducerea cheltuielilor de transport şi păstrarea calităţii produselor. Această concluzie indică calea modernizării inovaţionale a economiei în mişcarea ei spre dezvoltarea durabilă.

Noi susţinem că conservarea prin deshidratare la temperaturi joase este o piesă indispensabilă a dezvoltării durabile pentru Republica Moldova. Deshidratarea, ca un proces energointensiv, dar şi de mare amploare, este imanent şi ferm ancorat de energetică.

Din Strategia Energetică elaborată reiese că viitorul aparţine energeticii *rezonabil* descentralizate (evident, cu completarea şi transformarea treptată - dintr-o energetică actuală excesiv centralizată). Esența termenului ,,energetica *rezonabil* descentralizată", sau – mai pe scurt – ,,energetica descentralizată", trebuie specificată adăugător. Descentralizarea nu înseamnă abandonarea totală a componentei centralizate (pentru care rămâne în vigoare un important rol stabilizator în sistemul energetic - asigurarea sarcinii de bază), dar înseamnă completarea sistemului energetic cu un număr mare de producători de energie electrică relativ mici distribuiți și integrați în sistem. Unul din argumentele forte în favoarea descentralizării este imposibilitatea transportării rentabile a energiei secundare (a ,,deșeurilor energetice" imanente generării energiei electrice - conform teoremei lui Sadi Carnot) la distanțe mari și, implicit, necesitatea utilizării ,,deșeurilor energetice" în locul (localitatea) generării energiei electrice. Plus

la aceasta, consumatorii de energie sunt distribuiţi, precum sunt distribuite (relativ uniform) şi sursele de energie netradiţionale. Avantajul energeticii descentralizate este evident. Ca urmare, realizarea concepţiei de integrare a proceselor de deshidratare la temperaturi joase cu energetica modernizată (descentralizată) rezolvă armonios problema - prin adaptarea proceselor de deshidratare la temperaturi joase la consumul de surse energetice secundare şi, respectiv, excluderea poluării termice. De notat faptul că funcţionarea energeticii descentralizate este indispensabilă de **Smart Grid**, bazată pe progresul Tehnologiilor Informaţiei şi Comunicaţiilor (*eng. ICT - Information and Communications Technologies*) care reprezintă o realizare inovaţională de ultimă oră - cu folosirea celor mai performante computere, a tehnologiilor de telecomunicaţie, etc.

Apropos, în opinia noastră, este greşită orientarea la cogenerarea excesiv centralizată (cu CET-urile mari), care prevede utilizarea energiei termice pentru termoficare la distanţe relativ mari. CET-urile mari inevitabil vor pierde în viitorul apropiat sarcina termică comunală şi trebuie să se pregătească (treptat) de această schimbare, cu atât mai mult că în sezonul estival problema poluării termice pentru CET-uri este una acută şi imanentă („din născare”).

Însă, nu trebuie de absolutizat, sau de grăbit artificial descentralizarea - ea trebuie realizată treptat, pe întreaga perioadă de tranziţie, cu modernizarea judicioasă şi folosirea deplină a capacităţilor deja instalate (care păstrează rezerve de resurse). Capacităţile de generare noi - obligatoriu - trebuie proiectate ţinând cont de opţiunea descentralizării motivate. Avansarea capacităţilor de generare mai mici în energetica viitoare descentralizată nu înseamnă, însă, reducerea ponderii capacităţilor de generare mai mari la zero - proporţiile optime vor fi „stabilite” de piaţa energetică dezvoltată. (Ca exemplu, energia hidro generată pe râuri mari este centralizată din natura sa şi nu poate fi descentralizată).

CU PRIVIRE LA OPŢIUNILE ENERGETICE OPTIME PENTRU REPUBLICA MOLDOVA - FOAIA DE PARCURS

Noi am motivat, că pentru orice ţară (regiune) folosirea energiei nucleare este o opţiune optimă [3]. Până şi importante ţările-exportatoare de resurse energetice fosile (cum este Rusia, Iranul, Arabia Saudită, Qatarul, Emirate Arabe Unite, Kazahstanul, etc.) folosesc (sau neapărat tind să folosească) energia nucleară. Disponibilitatea de proprii zăcăminte de combustibil nuclear (uraniu sau toriu) practic nu contează – fiindcă capacitatea energetică specifică a combustibilului nuclear aproximativ de 10 milioane ori depăşeşte pe cea a oricărui combustibil „tradiţional” fosil, respectiv cheltuielile de transport sunt neglijabile.

Problema utilizării energiei nucleare are mai multe aspecte. Contează gradul de pregătire (avansare) a ştiinţei şi tehnologiilor nucleare (high-tech) în ţară, capacitatea de a asigura siguranţa şi securitatea bunei funcţionări a reactoarelor nucleare (inclusiv, este

importantă protecţia contra eventualelor atacuri teroriste, calamităţilor naturale, etc.), semnarea (şi respectarea cuvenită!) a Tratatului de Neproliferare, etc. Pentru Republica Moldova (ai cărei cetăţeni au suferit în urma catastrofei de la Cernobîl) deosebit de importantă este formarea obiectivă a opiniei publice, acceptul societăţii civile.

Generalizând, putem constata că Republica Moldova are condiţii deosebit de prielnice pentru a se conecta la aceasta sursă de energie sustenabilă cum este energia nucleară. Obţinerea energiei electrice non-carbon ieftine ar propulsa imediat Republica Moldova în rândul ţărilor mai avansate. O motivare ştiinţifică amplă a acestui deziderat depăşeşte cadrul actualei publicaţii. Însă, merită să fie menţionat că combinarea (integrarea) proceselor energointensive de deshidratare la temperaturi joase cu utilizarea deşeurilor de energie secundară la centrale nucleare este extrem de benefică şi asigură un efect sinergic multilateral important [3, 4]. În eventualitatea realizării acestei ,,simbioze" energia electrică de la centralele nucleare (şi aşa - una din cele mai ieftine) va deveni extrem de solicitată. Alte laturi însemnate ale efectului sinergic multilateral ar fi asigurarea energoeficientă şi perfectă a securităţii microbiologice pentru produsele conservate la temperaturi joase, intensificarea proceselor de schimb de căldură şi masă - ambele cu aplicare tehnologiilor nucleare [5,6,7,8].

Din Strategia Energetică elaborată („Strategia 3D") rezultă şi un alt principiu de bază pentru realizarea dezvoltării durabile - diversificarea. Deci, energia nucleară - deşi de minune asigură sarcina de bază pentru consumatorii energiei electrice - nu ar trebui să fie unica sursă de energie. În condiţiile Republicii Moldova pot fi folosite şi resursele renovabile. Din start trebuie de menţionat un şir de limitări care există obiectiv pentru Republica Moldova în acest domeniu - de resurse energetice ,,netradiţionale".

Sursele hidro sunt foarte benefice, dar dispunem pe actualul teritoriu de o cantitate relativ mică de aceste resurse, care, în mare măsură, sunt deja valorificate.

Lipsită de coasta Mării Negre şi zone muntoase, Republica Moldova se află la limita rentabilităţii instalaţiilor eoliene de tip „tradiţional" (turnuri cu elice - de viteză relativ mare). În plus, rigorile ecologice limitează adăugător aplicarea instalaţiilor de acest tip.

Energia solară numai la prima vedere pare a fi o soluţie - tocmai toamna-iarna, atunci când energia este cea mai solicitată, cerul în Republica Moldova este acoperit cu nori, deseori cu săptămâni (luni) întregi, blocând posibilităţile de folosire a concentratoarelor. La rândul său, tehnologiile fotovoltaice (PV), conform aprecierilor noastre, nu vor fi rentabile până nu va fi atinsă eficienţa suficient de mare (aproximativ 30%). Alte tehnologii solare (mai sofisticate, dar şi mai promiţătoare) abia se află la nivelul cercetărilor.

Caracterul intermitent (care este imanent energiei solare şi celei eoliene) obligă la folosirea acumulatorilor de energie, ceea ce inevitabil scumpeşte energia finală (aproximativ de 2 ori).

Energia biomasei (i.e. energia potenţială chimică acumulată în rezultatul fotosintezei) este una renovabilă, aparent ,,non-carbon". Într-adevăr, carbonul în biomasă nu

este de origine fosilă (ceea ce uşor se depistează prin prezenţa izotopului radioactiv C^{14}). Dar care este diferenţa pentru atmosfera Pământului - de care provenienţă este carbonul ars (oxidat) şi emis? Diferenţa constă în emisii mai mari în cazul folosirii biomasei (comparativ, de exemplu, cu arderea cărbunelui fosil) - datorită consumului adăugător a energiei de potenţial înalt pentru transportarea şi pregătirea biomasei (brichetelor, peleților) pentru ardere. Densitatea (şi componenţa) cărbunelui fosil este de fapt mai agreabilă pentru ardere decât în cazul biomasei. În final, arderea directă a biomasei e mai dăunătoare pentru ecologie decât arderea cărbunelui fosil. De notat faptul că ,,accesibilitatea" şi ,,ieftinătatea" biomasei este una iluzorie (înşelătoare). Pentru a clarifica lucrurile am introdus noţiunea de *raza critică de eficienţă* R_{cr} - un parametru calculabil care reprezintă distanţa la care consumul de energie liberă ΔG pentru transportarea (şi adaptarea la ulterioară ardere) a combustibilului (a biomasei - în cazul dat) se egalează cu eventuala energie liberă ΔG obţinută. Evident, că utilizarea energetică a biomasei poate fi termodinamic justificată şi, respectiv, rentabilă economic doar ,,în interiorul cercului cu raza critică" $R_{cr.}$ Această rază critică R_{cr} este cea mai mare - pentru un combustibil nuclear (cum este, spre exemplu, $_2He^3$ - ,,light helium" - care adus şi de pe Lună rămâne convenabil), şi este cea mai mică - pentru biomasă. Aşadar, biomasa este o opţiune controversată care necesită o argumentare ştiinţifică serioasă şi calificată pentru aplicarea largă în energetică. Vis-à-vis de Proiectul multianual ,,Energia şi Biomasa" (care se desfăşura mai mulţi ani în Republica Moldova consumând finanţarea externă generoasă de multe milioane de euro) putem constata lipsa de argumentare suficientă: arderea directă a biomasei fără producerea energiei de potenţial înalt (energiei libere ΔG) este - din start - o direcţie greşită, cu efectul pozitiv minim (dar şi acela - sub semnul întrebării). Există direcţii net superioare acestei arderi primitive directe a biomasei cu producerea doar a căldurii (adică energiei de potenţial mic). Asemenea abordare înseamnă irosirea potenţialului energetic al biomasei. Deja există (şi se mai perfecţionează) tehnologiile eficiente de folosire raţională a energiei biomasei. Însă trebuie de luat în seamă că eficienţa finală a utilizării biomasei ca sursa de energie de potenţial înalt oricum cedează indicilor energiei hidro, eoliene, solare concentrate, etc., nemaivorbind de indicele energiei nucleare. Se poate de demonstrat că energetica nu se poate baza pe biomasă. Concluzia este că ,,plantaţiile energetice" sunt absolut ineficiente pentru Republica Moldova. Mai mult decât atât, şi ,,deşeurile" agricole este o noţiune convenţională, respectiv şi ele trebuie tratate cu precauţie. Spre exemplu, în loc de arderea banală (cum are loc în Proiectul "Energia şi Biomasa"), paiele pot fi folosite pentru producerea hârtiei cu un potenţial imens de export (experienţa Chinei, Canadei, etc.), sau - încă mai avantajos - pentru producerea fibrelor de carbon (utilizând, inclusiv, energia solară, cu obţinerea - în paralel - a combustibilului pentru motoare ca produs colateral). Pentru biomasă rămâne ca cea mai indicată (practic indubitabilă) opţiune - utilizarea complexă a biomasei de origine menajeră (deşeurile menajere în localităţi mari oricum trebuie colectate, şi practic nu este nevoie de investiţii mari adăugătoare în acest sens).

CONCLUZII

Actualmente sursele energetice renovabile sunt relativ limitate pentru Republica Moldova. Respectiv, s-a demonstrat, că pentru perioada de tranziție la dezvoltarea durabilă folosirea energiei nucleare este un imperativ *sine qua non* pentru Republica Moldova.

Caracterul intermitent a energiei solare şi celei eoliene, plus variațiile sezoniere obligă la folosirea acumulatorilor de energie, ceea ce inevitabil scumpeşte energia finală.

Instalațiile fotovoltaice (PV) în condițiile Republicii Moldova categoric nu trebuie să ocupe pământurile arabile – pentru ele sunt suficiente clădirile, drumurile, parcările, etc.

Subiectul biomasei la fel trebuie tratat cu mare prudență. S-a demonstrat, că ,,plantaţiile energetice" sunt absolut ineficiente (nerentabile) pentru Republica Moldova.

Cogenerarea (utilizarea resurselor energetice secundare) este bine venită la toate metode de generare a energiei electrice. În special, resursele energetice secundare pot fi folosite la realizarea proceselor energointensive de deshidratare la temperaturi joase - cu un impact sinergic important.

REFERINȚE:

1. BOSNEAGA, Iu. Integrated solution for energy and food problems - a way to sustainable development. International Symposium on Food Safety and Quality: Applications of Nuclear and Related Techniques. Vienna, Austria, 10 – 13 November 2014, În: *Book of Abstracts*, p.61.
2. S.R. DE GROOT AND P. MAZUR, Non-equilibrium Thermodynamics, North-Holland, Amsterdam, 1962.
3. BOSNEAGA, Iu. Huge non-spent potential of the "spent fuel"- the ways of its utilization. Report on the International Conference on Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors - An Integrated Approach to the Back-End of the Fuel Cycle, Vienna, Austria, 15 – 19 June 2015. În: *Book of Abstracts*, p.90 -91. Electronic publication - *http://www-pub.iaea.org/iaeameetings/cn226p/Posters/session_7_poster.pdf*
4. IURIE BOSNEAGA. Sustainable energy development - elaboration of the main components for the transient period. Abstract for the 8th International Conference on "Energy and Climate Change", Greece, Athens, 7-9 October 2015.
5. IURIE BOSNEAGA. Non-equilibrium plasma for sterilization in food industry. International Symposium on Food Safety and Quality: Applications of Nuclear and Related Techniques. Vienna, Austria, 10 – 13 November 2014, În: *Book of Abstracts*, p.62.

6. Iu. BOSNEAGA, M.BOLOGA. Нетепловое воздействие электрических импульсов высокого напряжения на микроорганизмы в жидких средах с целью получения стерилизующего эффекта. În: *Proceedings of the 11th International Conference on Modern Problems of Electrophysics and Electrohydrodynamics (MPEE-2015)*, Peterhof, Russia, June 29 – July 3, 2015, p. 326—329, ISBN: 78-5-88143-162-4.
7. E.AGARWAL, Iu. BOSNEAGA, M.BOLOGA. About the basic solutions for cold plasma decontamination. Report for the VIIIth International Conference PLASMA PHYSICS AND PLASMA TECHNOLOGY (PPPT – 8), Minsk, Belarus, 14 - 18 September, 2015. În: *Contributed Papers*, Volume 2, p.501 -504, ISBN 978-985-7137-19-0.
8. Yu. A. BOSHNYAGA, M. K. BOLOGA and E. Yu. AGARVAL. "On the Problem of Optimal Microbiological Decontamination of Air Environment and Surfaces". În: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2022, Vol. 58, No. 5, pp. 523–539., DOI: 10.3103/S1068375522050039.

ASUPRA DEDUCERII ECUAŢIILOR NAVIER–STOKES PENTRU MIȘCAREA LAMINARĂ A FLUIDELOR VÂSCOASE INCOMPRESIBILE

ON THE DEDUCTION OF THE NAVIER–STOKES EQUATIONS FOR THE LAMINAR MOTION OF INCOMPRESSIBLE VISCOUS FLUIDS

CZU: 532.5 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.112**

Ion M. CERNICA
ORCID: 0009-0006-4776-8211
E-mail: ion.cernica@ifa.usm.md
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Starting from the fundamental laws of classical dynamics and molecular physics, an alternative variant of derivation of the Navier–Stokes equations for the laminar motion of incompressible viscous fluids is presented, focused on the application of d'Alembert's principle to the forces exerted on a volume of fluid limited by a closed surface and Newton's law of linear deformation for unidirectional motion. To transform surface integrals into volume integrals, the gradient integral relation and Green's first integral identity are used. The method stands out for its simplicity and clarity, which can give it a wide applicability among the existing methods in the specialized literature. The demonstration is preceded by a brief analysis of the main methods used today to deduce the fundamental equations of hydrodynamics. It is shown that including the phenomenon of internal friction in the equations of motion was a difficult problem, due to the fact that these equations describe the macroscopic velocity flow of the fluid, while energy dissipation occurs at the microscopic level.*

Keywords: *Navier–Stokes equation, fluid, incompressible, motion, viscous.*

INTRODUCERE

Mişcarea fluidelor vâscoase incompresibile a fost dintotdeauna în atenţia cercetătorilor, datorită caracterului său fundamental şi a importanţei sale practice. După cum se ştie, mişcarea fluidelor vâscoase este guvernată de ecuaţiile Navier–Stokes, formulate, independent unul de altul, de Navier [1, 2], Poisson [3, 4], Saint-Venant [5] şi Stokes [6, 7], în prima jumătate a secolului al XIX-lea, din raţionamente moleculare şi fenomenologice. Ele se aplică pe larg la modelarea matematică a multor fenomene naturale, biologice, fiziologice, cât și la soluționarea unui număr mare de probleme tehnice, precum sunt mișcarea curenților atmosferici și oceanici, mișcarea din interiorul stelelor, mișcarea galaxiilor, curgerea aerului în jurul aripii avionului, curgerea fluidelor prin tuburi și canale, mișcarea fluidelor dielectrice în câmp electric, magnetic și electromagnetic. Pe aceste ecuații este bazată hemodinamica circulației sângelui în sistemul cardiovascular uman, lubrifierea hidrodinamică a articulațiilor, mișcarea flu-

idelor biologice în corpul uman, proiectarea avioanelor, rachetelor, turbinelor eoliene și hidraulice, pompelor hidraulice.

Dar în ultimii două sute de ani de cercetare în domeniul hidrodinamicii, eforturile cercetătorilor s-au orientat nu atât asupra elaborării unor metode simple şi clare de deducere a ecuaţiilor Navier–Stokes, cât asupra rezolvării lor. Se explică acest lucru prin faptul că spre sfârşitul secolului al XIX-lea tratarea teoretică a mişcării celor mai importante fluide din punct de vedere practic, apa și aerul, deveniseră o problemă de mare actualitate pentru ştiinţă, iar aceasta putea fi soluţionată numai printr-o tratare directă a ecuaţiilor Navier–Stokes. Drept urmare, în această perioadă, au fost stabilite soluţii exacte pentru un şir de cazuri particulare, în care termenul neliniar, corespunzător acceleraţiei convective sau advective (după unii autori), este nul sau neglijabil în comparație cu alți termeni [8]. Prin prisma acestei ipoteze s-a soluționat mișcarea Hagen–Poiseuille într-o conductă circulară (1840), mișcarea Couette între doi pereți plani paraleli și doi cilindri coaxiali rotitori (1890), mișcarea Hiemenz–Howarth în apropierea punctului critic (1911, respectiv 1934) și mișcarea Rayleigh într-un mediu semi-infinit delimitat de un plan care se deplasează paralel cu el însuși (1911). Mai târziu s-au obținut soluții exacte și pentru cazul în care termenul neliniar este diferit de zero [8], cele mai cunoscute și mai relevante soluții fiind vârtejul Taylor–Green (1937), utilizat pentru testarea metodelor numerice de soluționare, vârtejul Lamb–Oseen (1912), vârtejul Kerr–Dold (1994) și vârtejul Burgers (1948). Cât priveşte elaborarea unor metode de deducere a ecuaţiilor mişcării fluidelor vâscoase, bazate pe raţionamente argumentate din punct de vedere fizic şi matematic, lucrurile au avansat extrem de lent. Din aceste motive, în prezenta lucrare, se propune o metodă alternativă de deducere a ecuaţiilor Navier–Stokes, axată pe transpunerea principiului lui d'Alembert şi a legii deformării liniare a lui Newton pentru mişcarea unidirecţională şi aplicarea analizei vectoriale, fără a se recurge, însă, la calculul tensorial. Pentru o înţelegere mai profundă a problematicii abordate demonstrația este precedată de o analiză succintă a principalelor metode aplicate astăzi la deducerea acestor ecuaţii.

STAREA ACTUALĂ ÎN DOMENIU

La moment, deducerea ecuaţiilor clasice ale dinamicii fluidelor vâscoase se face printr-un număr relativ restrâns de metode. Sunt, astfel, cunoscute metoda Saint-Venant–Stokes [5-7], metoda Milne-Thomson [9, 10], metoda Motulevici [11] și metoda Grosu–Bologa [12]. Cititorul dornic de a cunoaște geneza şi metodologia deducerii ecuaţiilor Navier–Stokes la etapa inițială, în special, metoda Saint-Venant–Stokes, poate consulta tratatul de mecanică a fluidelor [13], în care aceste probleme sunt expuse pe larg.

O metodă relativ nouă, aplicată la deducerea ecuaţiilor fundamentale de mişcare a fluidelor vâscoase, este metoda cunoscutului profesor american L.M. Milne-Thomson [9], care are la bază legea a doua a lui Newton. Pentru deducerea acestor ecuații, el a considerat un volum de fluid, care în momentul de timp t ocupă un domeniu delimitat de o suprafaţă de control închisă S. Potrivit legii a doua a dinamicii clasice, asupra vo-

lumului de fluid considerat acţionează o forţă egală cu viteza de variaţie a cantităţii de mişcare $\int_{\vartheta} \rho \frac{d\vec{v}}{dt} d\vartheta$. Mişcarea fluidului conţinut în acest volum se produce sub acţiunea forţei masice exterioare $\int_{\vartheta} \rho \vec{f} d\vartheta$ şi a forţei de rezistenţă $\int_{S} \vec{n}\Phi dS$, în care tensiunea $\vec{n}\Phi$ exercitată pe un element de suprafaţă *dS* are expresia

$$\vec{n}\Phi = -p\vec{n} - \frac{2}{3}\vec{n}\mu(\nabla\vec{v}) + (\vec{n}2\mu\nabla)\vec{v} + \vec{n}\times\mu\xi\,, \tag{1}$$

$\vec{\xi} = \nabla\times\vec{v}$ fiind rotorul vitezei, $\Phi -$ tensorul tensiunilor şi $\vec{n} -$ vectorul unitar al normalei pe elementul de suprafaţă, dirijat către exterior.

Egalând viteza de variaţie a cantităţii de mişcare cu forţa totală exercitată asupra volumului de fluid considerat și apelând la teorema Gauss–Ostrogradski, Milne-Thomson obţine ecuaţia de mişcare în caz general sub forma

$$\rho\frac{d\vec{v}}{dt} = \rho\vec{f} - \nabla p - \frac{2}{3}\nabla[\mu(\nabla\vec{v})] + [\nabla(2\mu\nabla)]\vec{v} + \nabla\times(\mu\xi), \tag{2}$$

care pentru fluide incompresibile cu viscozitatea $\mu = \text{const}$ devine

$$\rho\frac{d\vec{v}}{dt} = \rho\vec{f} - \nabla p - \mu\nabla\times\vec{\xi} \tag{3}$$

sau

$$\rho\frac{d\vec{v}}{dt} = \rho\vec{f} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{v}, \tag{4}$$

după aplicarea regulii dublului produs vectorial [9, 13] $\nabla^2\vec{v} = \nabla(\nabla\vec{v}) - \nabla\times(\nabla\times\vec{v})$.

Această metodă oferă posibilitatea deducerii rapide a ecuaţiilor Navier–Stokes. În acelaşi timp, stabilirea relaţiei tensiunii (1) şi determinarea formei funcţiei Φ prezintă probleme matematice extrem de dificile [10], care fac ca metoda să aibă o aplicabilitate limitată. Mai mult, scrierea ecuaţiilor clasice ale dinamicii fluidelor vâscoase numai în formă compactă, adică vectorial, nu pare să fie suficient de transparentă pentru analiză.

O metodă mult simplificată de deducere a ecuaţiilor fundamentale de mişcare a fluidelor vâscoase a fost propusă de profesorul rus V.P. Motulevici de la Institutul Energetic din Moscova, în anul 2000 [11]. Metoda are la bază legile fundamentale ale dinamicii clasice şi fizicii moleculare, pe care autorul le aplică cu discernământ forţelor exercitate asupra unui volum de fluid incompresibil în mişcare laminară. El stabileşte mai întâi relaţia de calcul a forţei de rezistenţă vâscoasă – partea vulnerabilă a ecuaţiilor. Apoi arată că coeficientul de viscozitate dinamică nu depinde de orientarea reciprocă a vectorului de viteză şi a elementului de fluid. Aplicând legea a doua a dinamicii lui Newton, obţine ecuaţiile Navier–Stokes pentru fluide cu proprietăţi constante, fără a apela, însă, la un

aparat matematic sofisticat, cum este bunăoară analiza vectorială sau calculul tensorial.

Profesorul T. Grosu şi academicianul M. Bologa de la Institutul de Fizică Aplicată al Universităţii de Stat din Moldova sugerează aplicarea metodei Π a analizei dimensionale la deducerea ecuaţiilor continuităţii, difuziei, conducţiei termice şi de mişcare a fluidului perfect şi vâscos [12]. Metoda are la bază observaţia că ecuaţiile fundamentale ale hidrodinamicii şi transferului de căldură şi de masă conţin derivata substanţială DF/Dt a unei funcţii scalare sau vectoriale, pe care autorii o prezintă sub forma

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + (\vec{v}, \nabla)F = \mu \cdot f(\nabla, F, \vec{v}, \gamma, p, ...), \tag{5}$$

în care μ este o constantă adimensională, γ – densitatea sau masa specifică, p – presiunea, iar ∇ – operatorul nabla definit cu relaţia

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}.$$

Deoarece, în conformitate cu prima teoremă de aproximaţie a lui Weierstrass [14], orice mărime derivată poate fi exprimată printr-un produs dintre o constantă adimensională şi puteri ale mărimilor fundamentale, ecuaţia (5) se scrie sub forma generală

$$\mu \cdot f(\nabla, F, \vec{v}, \gamma, p, ...) = \mu \cdot \nabla^k \cdot F^l \cdot \vec{v}^m \cdot ... \text{ sau } [(\vec{v}, \nabla F)] = \mu \cdot [\nabla]^k \cdot [F]^l \cdot [\vec{v}]^m \cdot ... \tag{6}$$

Egalând exponenţii din membrii stânga şi dreapta ai ultimei egalităţi, se obţine un sistem de ecuaţii algebrice, care conduce la explicitarea membrului dreapta al relaţiei (5). După cum susţin autorii [12], relaţiile (5) şi (6) constituie nucleul metodei. Prin metoda analizei dimensionale a fost soluţionată, totodată, problema existenţei celor două forţe de rezistenţă vâscoasă, de alunecare şi de deformaţie, care apar la „comprimarea–întinderea" fluidului compresibil, şi stabilite relaţiile de calcul ale acestor forţe.

Metodele de deducere a ecuaţiilor generale de mişcare a fluidelor vâscoase descrise mai sus recurg la variabilele lui Euler. În mod natural, ecuaţiile Navier–Stokes pot fi scrise şi în variabilele lui Lagrange. Deducerea acestor ecuaţii în sistemul Lagrange este dată în lucrările [9, 15, 16], care aici nu se analizează.

FORMULAREA PROBLEMEI

După cum s-a văzut, literatura de specialitate oferă puţine metode alternative de deducere a ecuaţiilor clasice ale dinamicii fluidelor vâscoase. Deducerea acestor ecuaţii chiar şi pentru fluidul incompresibil, cazul mai simplu, întâmpină dificultăţi mari, mai ales de ordin matematic. Metodele existente presupun aplicarea unor raţionamente matematice artificiale, care au o semnificaţie fizică aparentă. Pentru elaborarea unei metode simple şi clare de deducere a ecuaţiilor Navier–Stokes, în condiţiile menţionate, s-a impus elaborarea unei metode fenomenologice, bazate pe transpunerea principiului lui

d'Alembert şi a legii deformării liniare a lui Newton pentru mişcarea unidirecţională şi aplicarea analizei vectoriale, evitând calculul tensorial.

DEDUCEREA PROPRIU-ZISĂ

Pentru determinarea formei generale a ecuaţiilor de mişcare a fluidelor vâscoase incompresibile se consideră un fluid în mişcare laminară, din care se separă un element oarecare de fluid cu volumul ϑ limitat de suprafaţa închisă σ (vezi figura 1). Studiul echilibrului dinamic al acestuia poate fi făcut prin solidificarea lui şi aplicarea principiului lui d'Alembert forţelor care acţionează asupra volumului ϑ

$$\vec{F}_i + \vec{F}_{ext} + \vec{F}_s + \vec{F}_\mu = 0, \tag{7}$$

care poate fi scris şi sub forma legii a doua a dinamicii clasice

$$m\frac{D\vec{v}}{Dt} = \vec{F}_{ext} + \vec{F}_s + \vec{F}_\mu, \tag{8}$$

unde $\vec{F}_i$, $\vec{F}_{ext}$, $\vec{F}_s$ şi $\vec{F}_\mu$ sunt respectiv forţa de inerţie, forţa exterioară, forţa superficială (de presiune) şi forţa de rezistenţă cauzată de viscozitate, *m* – masa fluidului conţinut în elementul considerat, iar $D\vec{v}/Dt -$ derivata substanţială sau totală a vitezei în raport cu timpul prin care se pune în evidenţă vectorul acceleraţiei centrului de masă al acestui element. Se presupune că cele două ecuaţii vectoriale se respectă în orice punct al domeniului tridimensional ocupat de fluidul în mişcare.

Prin suprimarea fluidului din exteriorul suprafeţei σ este necesar să se înlocuiască acţiunea acestuia cu un sistem echivalent de forţe. Fie un element de suprafaţă de arie $d\sigma$, ca în figura 1. Pe acest element se exercită forţa de suprafaţă $d\vec{F}_s = \vec{p}_n d\sigma = -p\vec{n}d\sigma$, în care $\vec{p}_n$ este vectorul tensiune, $p -$ presiunea hidrostatică, iar $\vec{n} -$ versorul normalei exterioare la elementul de suprafaţă. Se poate considera că această forţă elementară este aplicată în centrul de masă *C* al elementului de suprafaţă $d\sigma$. Pentru întreaga suprafaţă închisă σ rezultanta forţelor de suprafaţă $\vec{F}_s$ are expresia

$$\vec{F}_s = \oiint_\sigma \vec{p}_n d\sigma = -\oiint_\sigma p\vec{n}d\sigma\,. \tag{9}$$

Întrucât fluidul este vâscos, asupra elementului de suprafaţă considerat se mai exercită şi forţa de rezistenţă $d\vec{F}_\mu$ cauzată de viscozitate. În ipoteza mişcării laminare, pentru calculul acestei forţe se poate admite legea deformării liniare a lui Newton pentru mişcarea unidirecţională, potrivit căreia forţa de rezistenţă care se exercită în planele de contact ale straturilor de fluid este direct proporţională cu derivatele vitezei în raport cu direcţiile normale la aceste plane şi cu ariile suprafeţelor de contact, adică $d\vec{F}_\mu = \vec{n}\cdot\mu\frac{\partial v}{\partial n}d\sigma$. Pentru întreaga suprafaţă închisă forţa de rezistenţă vâscoasă are expresia

$$\vec{F}_{\mu} = \oiint_{\sigma} \vec{n} \cdot \mu \frac{\partial v}{\partial n} d\sigma \tag{10}$$

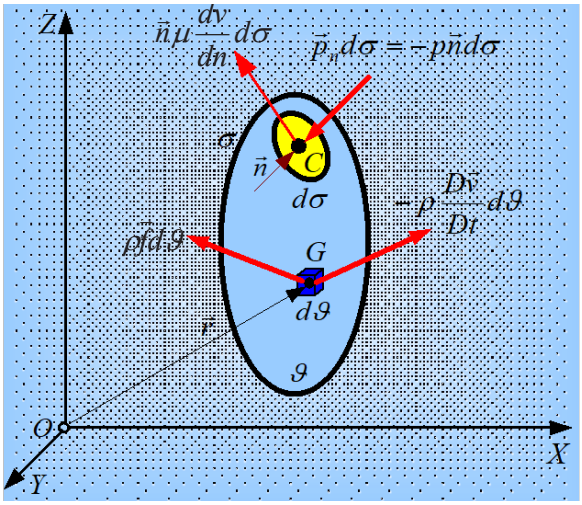


Figura 1. Element de fluid în mișcare, solicitat de forțe exterioare, superficiale, inerțiale și de rezistență.

Fie acum un element de volum $d\vartheta$ și de masă $dm = \rho d\vartheta$ (figura 1). Această masă de fluid se deplasează cu viteza $\vec{v}$ și este supusă acțiunii unei forțe exterioare elementare $d\vec{F}_{ext} = \rho\vec{f}d\vartheta$, unde $\vec{f}(f_x, f_y, f_z)$ este vectorul de densitate al forțelor exterioare. Pentru întregul volum ϑ forța exterioară este

$$\vec{F}_{ext} = \iiint_{\vartheta} \rho\vec{f}d\vartheta \ . \tag{11}$$

Tot asupra elementului de volum $d\vartheta$ acționează și forța de inerție $d\vec{F}_i = -\rho\frac{D\vec{v}}{Dt}d\vartheta$. Pentru întregul volum ϑ forța de inerție $\vec{F}_i$ este

$$\vec{F}_i = -\iiint_{\vartheta} \rho\frac{D\vec{v}}{Dt}d\vartheta \ . \tag{12}$$

Între cele patru forțe care se exercită asupra elementului de fluid considerat se poate scrie, în baza principiului lui d'Alembert, relația vectorială

$$-\iiint_{\vartheta} \rho\frac{D\vec{v}}{Dt}d\vartheta + \iiint_{\vartheta} \rho\vec{f}d\vartheta - \oiint_{\sigma} p\vec{n}d\sigma + \oiint_{\sigma} \vec{n} \cdot \mu\frac{\partial v}{\partial n}d\sigma = 0 \ , \tag{13}$$

care reprezintă ***forma integrală a ecuației de mișcare a fluidelor vâscoase***.

Pentru a se obţine şi forma diferenţială, este necesară transformarea integralelor pe suprafaţa închisă σ, $\oiint_{\sigma} p\vec{n}d\sigma$ şi $\iint_{\sigma} \vec{n}\cdot\mu\frac{\partial v}{\partial n}d\sigma$ în integrale de volum, aplicând formula integrală a gradientului, respectiv prima identitate integrală a lui Green [9]:

$$\oiint_{\sigma} p\vec{n}d\sigma = \iiint_{\vartheta} \nabla p d\vartheta \ ; \tag{14}$$

$$\iint_{\sigma} \vec{n}\cdot\mu\frac{\partial v}{\partial n}d\sigma = \iiint_{\vartheta}\left(\nabla\mu\cdot\nabla v + \mu\nabla^2 v\right)d\vartheta = \iiint_{\vartheta}\nabla\mu\cdot\nabla v\, d\vartheta + \iiint_{\vartheta}\mu\nabla^2\vec{v}\, d\vartheta, \tag{15}$$

deoarece

$$\nabla^2 v = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\left(\vec{i}v_x + \vec{j}v_y + \vec{k}v_z\right) =$$

$$= \vec{i}\left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}\right)+\vec{j}\left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2}\right)+\vec{k}\left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}\right) =$$

$$= \nabla^2 v_x\vec{i} + \nabla^2 v_y\vec{j} + \nabla^2 v_x\vec{k} = \nabla^2\vec{v},$$

datorită faptului că $\left(\nabla^2\vec{v}\right)_x = \nabla^2 v_x,\ \left(\nabla^2\vec{v}\right)_y = \nabla^2 v_y,\ \left(\nabla^2\vec{v}\right)_z = \nabla^2 v_z$, unde $\nabla^2\vec{v}$ este operatorul lui Laplace în trei dimensiuni, aplicat funcţiei vectoriale $\vec{v}\left(v_x,\ v_y, v_z\ \right)$, iar $\nabla^2 v_x$, $\nabla^2 v_y$ şi $\nabla^2 v_z$ – operatorii monodimensionali ai lui Laplace.

Cu acestea, relaţia (13) devine

$$\iiint_{\vartheta}\left(\rho\frac{D\vec{v}}{Dt} - \rho\vec{f} + \nabla p - \nabla\mu\cdot\nabla v - \mu\nabla^2\vec{v}\right)d\vartheta = 0. \tag{16}$$

În relaţiile (13) şi (16) nu intervine nici un operator diferenţial înaintea integralelor de volum sau de suprafaţă. În aceste condiţii, volumul σ poate fi oarecare, coincizând la timpul t cu volumul considerat iniţial. Deoarece nu s-a făcut nici o ipoteză cu privire la mărimea volumului σ, se poate deci considera şi cazul când volumul σ tinde către zero. Astfel, din (16) rezultă

$$\rho\frac{D\vec{v}}{Dt} - \rho\vec{f} + \nabla p - \nabla\mu\cdot\nabla v - \mu\nabla^2\vec{v} = 0, \tag{17}$$

care reprezintă ecuaţia generală de mişcare a fluidelor vâscoase incompresibile sau ecuaţia completă Navier–Stokes.

Dacă viscozitatea este invariabilă, deci $\mu = \text{const}$ şi $\nabla\mu = 0$, atunci ecuaţia (17) se simplifică şi ia forma (4), specifică fluidelor vâscoase incompresibile în mişcare laminară.

La demonstraţia ecuaţiei Navier–Stokes s-a presupus că toate funcţiile care determină şi caracterizează mişcarea laminară a fluidelor vâscoase reprezintă funcţii continue de coordonate şi timp şi sunt deci derivabile.

CONCLUZII

În baza celor expuse mai sus, au fost trasate următoarele concluzii:

1. În ultimii două sute de ani de cercetare în domeniul dinamicii fluidelor vâscoase, atenţia cercetătorilor s-a orientat nu atât asupra elaborării unor metode simple și clare de deducere a ecuaţiilor Navier–Stokes, cât asupra rezolvării lor. Acesta a şi fost motivul elaborării unei metode noi de demonstraţie, succedată de o analiză succintă a principalelor metode de deducere a ecuaţiilor clasice ale dinamicii fluidelor vâscoase.

2. În literatura de specialitate contemporană, deducerea ecuaţiilor dinamicii fluidelor vâscoase se face printr-un număr relativ mic de metode, cele mai cunoscute fiind: metoda Saint-Venant–Stokes, metoda Milne-Thomson şi metoda Motulevici. În ultimul timp, se vehiculează ideea aplicării metodei Π a analizei dimensionale la deducerea ecuaţiilor de mişcare a fluidelor perfecte şi vâscoase, precum şi a ecuaţiilor continuităţii, difuziei şi conducţiei termice.

3. Metoda alternativă de deducere a ecuaţiilor Navier–Stokes propusă prin prezentul studiu are la bază principiul lui d'Alembert şi legea deformării liniare a lui Newton pentru mişcarea unidirecţională. Pentru transformarea integralelor de suprafaţă în integrale de volum, se aplică relaţia integrală a gradientului şi prima identitate integrală a lui Green. Demonstrația matematică este axată pe presupunerea că toate funcţiile care determină mişcarea laminară a fluidelor vâscoase reprezintă funcţii continue de coordonate şi timp.

4. Datorită simplității, originalității și rigurozității, metoda elaborată poate fi aplicată în procesul de predare a mecanicii fluidelor.

REFERINȚE:

1. Navier C.L. Sur les lois des mouvement des fluides, en ayant générale des adhésion des molecules. Annales de Chimie et de Physique, 1821, vol. 19, pp. 244-260.
2. Navier C.L. Mémoire sur les lois du mouvement des fluides, présenté le 18 mars 1822. Mémoire de l'Académie des Sciences de l'Institute de France, 1827, tome 6, pp. 389-440.
3. Poisson S.D. Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques et de fluides. Mémoire de l'Académie Royale des Sciences de l'Institute de France, 1829, vol. 8, pp. 357-570, 623-627.
4. Poisson S.D. Mémoire sur les équations générales de l'équilibre et du mouvement des corp solides élastiques et des fluides. Journal de l'École Polytechnique (Paris), 1831, vol. 13, cahier 20, pp. 1-174.
5. Barré de Saint-Venant A.J.C. Note à joindre au Mémoire sur la dynamique des fluides, présenté le 14 avril 1834. Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, 1843, tome 17, no. 22, pp. 1240-1243.

6. Stokes G.G. On the theories of the internal friction of fluids in motion, and of the equilibrium and motion of elastic solides. Transactions of the Cambridge Philosophical Society, 1845, vol. 8, pp. 287-305.
7. Stokes G.G. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. Transactions of the Cambridge Philosophical Society, 1851, vol. 9, part II, pp. 8–106.
8. Drazin P.G., Riley N. *The Navier–Stokes equations: a classification of flows and exact solutions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – X+196 p. ISBN – 13 978-0-521-68162-9.
9. Milne-Thomson L.M. *Theoretical hydrodynamics*. London: Macmillan and Company Limited, 1962. 660 p.
10. Cope W.F. The equations of hydrodynamics in a very general form. Rep. Memor. Aero. Res. Comm. London, No. 1903. British A.R.C., 1942.
11. Мотулевич В.Р. Упрощенный вывод уравнения количества движения вязкой несжимаемой жидкости. Лесной вестник, 2000, № 2, с.54-55.
12. Гросу Ф.П., Болога М.К. К выводу уравнений гидро- и электродинамики методом анализа размерностей. Электронная обработка материалов, 2019, том 55, №1, с.53-58.
13. Cernica I.M. *Bazele mecanicii fluidelor*. Chișinău: Bones Offices, 2021. 948 p. ISBN 978-9975-87-886-9.
14. Cernica I.M. *Bazele fizice ale analizei dimensionale: aplicații și sisteme de unități*. București: A.G.I.R., 2014. 195 p. ISBN 978-973-720-523-0.
15. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. *Теоретическая гидромеханика*, часть 2. Москва: Физматгиз, 1963. 728 с. ISBN lipsește.
16. Монин А.С. О лагранжевых уравнениях гидродинамики несжимаемой вязкой жидкости. Прикладная математика и механика, 1962, том 26, №2, с.320-327.

***N.B. Mulțumiri**. Lucrarea a fost realizată cu sprijinul Guvernului Republicii Moldova în cadrul subprogramului 011203 (2024-2027).*

***Conflict de interese**. Autorul declară că nu are niciun conflict de interese.*

SINTEZA, CARACTERIZAREA STRUCTURALĂ ȘI OPTICA MATERIALELOR VITROASE $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ SUB FORMĂ MASIVĂ ȘI PELICULE SUBȚIRI

SYNTHESIS, STRUCTURAL CHARACTERIZATION AND OPTICS OF VITROUS MATERIALS $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ IN BULK AND THIN FILMS

CZU: 539.213:539.23 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.113**

Oxana IASENIUC
ORCID: 0009-0000-2019-4824
E-mail: oxana.iaseniuc@ifa.usm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor VERLAN
ORCID: 0000-0002-0758-6409
E-mail: vverlan@ ifa.usm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary.*In this work, new glassy compositions $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ with x = 0 – 0.10 were synthesized, and thin films were obtained by thermal evaporation in vacuum. Structural and compositional characterization was performed by SEM, EDS, XRD and UV-VIS spectroscopy. The results revealed the amorphous and homogeneous nature of the samples, as well as a high optical transmission in the range of 0.4–0.9 μm, with an absorption edge between 1.96–2.06 eV. A significant photoinduced effect was observed upon irradiation with violet light, manifested by a shift of the absorption edge towards the IR. The materials show potential for applications in optoelectronics, holographic memory and IR waveguides.*

Keywords: *Chalcogenide glasses, As, S, Se, Sn, EDS, SEM, XRD, optical transition*

INTRODUCERE

Sticlele calcogenice (SC) din sistemul As-S-Se-Te sunt importante pentru contribuția lor în fizica semiconductorilor datorită ușurinței de formare, transmisiei optice excelente a infraroșu, rezistenței la condiții dure atmosferice și stabilității chimice, precum și pentru o gamă largă de aplicații tehnice, cum ar fi ghiduri în infraroșu, dispozitivele de comutare acusto-optică, dispozitivele ovonice, mediile de înregistrare holografică, optica difractivă, cristalele fotonice, senzorii de gaze, etc. [1-2].

Materiale sticloase au un nivel scăzut de fononi și sunt considerate principalele componente ale compozițiilor pentru aplicații în dispozitive pasive și active, cum ar fi amplificatoarele cu laser, cu fibră și componente neliniare [3]. proprietăților lor fizice și

optice, care se schimbă sub influența factorilor externi (iradierea cu lumină și încălzire [1]). Ele posedă proprietăți unice la acțiunea luminei, cum ar fi fotoîntunecarea, fotoexpansiunea uriașă și fotofluiditatea [4,5].

Indicele de refracție ridicat și transparența în domeniul infraroșu a SC sunt utilizate în telecomunicații și dispozitive medicale pentru spectroscopie, imagistică și senzori de diagnosticare, în dispozitive optice avansate, cum ar fi filtrele și multiplexoarele, etc.

Conform Research Methodology of Cognitive Market Research [6] dimensiunea pieței sticlei calcogenice este în creștere și se apreciază la 300 de milioane USD în 2024 și se preconizează că va ajunge la 500 de milioane USD până în 2033. Interesul special pentru aplicațiile peliculelor amorfe de calcogenice este legat de doparea cu impurități metalice, care modifică proprietățile optice, fotoelectrice și de transport de lumină [3].

Această lucrare prezintă extinderea rezultatelor noastre experimentale anterioare [7,8] privind compozițiile calcogenice multicomponente. Scopul acestei lucrări este de a investiga influența dopării cu staniu asupra structurii, compoziției și proprietăților optice ale sistemului calcogenic $As_{45}S_{15}Se_{40}$, în vederea identificării potențialului aplicativ în optoelectronică. În lucrare s-au obținut compozițiile cuaternare vitroase noi $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$, cu x=0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.07, 0.10.

MATERIAL ȘI METODĂ

Metodele de investigare

Probele au fost analizate utilizând un difractometru (XRD) Rigaku SmartLab cu o țintă de cupru (cu $\lambda = 1{,}540598$ Å), o tensiune a tubului de 45 kV și un curent al tubului de 200 mA. Difractogramele au fost înregistrate la temperatura camerei pe o gamă largă de unghiuri 2θ (15-90 grade) cu un pas de scanare de 0,6 grade.

Măsurarea EDX a compoziției chimice a fost făcută cu ajutorul spectrometrului de fluorescență de raze X, aparat X-Calibur, fabricat de Xenemetrix (Israel). Analiza spectrului a fost efectuată în programul XRS-FP. Imaginile SEM au fost înregistrate în aceeași locație pe probă utilizând detectoare de electroni secundari de contrast de fază și de electroni de transmisie.

Măsurătorile de transmisie optică în domeniul UV-VIS au fost efectuate la temperatura camerei pe probe de pelicule subțiri, utilizând spectrometele Specord și Cary 7000 Universal Measurement Spectrophotometer.

2.2. Sinteza materialului vitros

Semiconductorii noi vitreoși $\underline{As_{45}S_{15}Se_{40}}_{1-x}\underline{Sn_x}$, x=0,0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,07, 0,10, au fost preparați din elemente cu puritate 4N As, Sn, S, Se (obținute de la Aldrich Chemical Co.) prin metoda convențională de sinteză a compușilor vitroși: călire topire - omogenizare - răcire bruscă. Compușii inițiali au fost plasați și amestecați în 9 fiole de cuarț, care au fost apoi evacuate până la o presiune de $P \sim 10^{-5}$ Torr și sigilate. În cele din urmă, fiolele cu amestecurile au fost topite la 850-900 °C într-un cuptor rotitor

timp de 10 ore pentru omogenizare și apoi răcite brusc la temperatura camerei. O parte din lingourile sintetizate au fost măcinate în pulberi cu o dimensiune a granulelor de aproximativ d=100 nm și au fost utilizate pentru măsurările XRD și EDX și depunerea prin evaporare a straturilor subțiri .

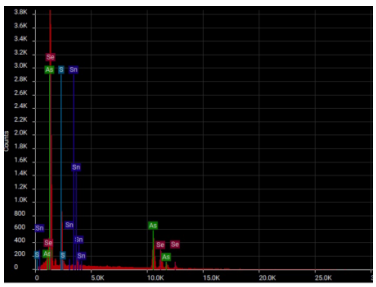
2.3. Prepararea peliculelor subțiri

Peliculele subțiri au fost depuse termic prin evaporare în vid (10^{-5} mm Hg) utilizând un evaporator de molibden complex „cvasi-închis". În construcția vaporizatorului este prevăzut un capac special cu multe găurele pentru a asigura un flux uniform pe substrat, astfel încât să se poată obține o grosime uniformă a peliculei pe o suprafață de 100 cm^2 [7, 8]. În acest scop, instalația de vid VUP-4 a fost echipată cu înregistrarea și menținerea constantă a temperaturii evaporatorului cu stabilizatorul VRT-2. Peliculele au fost obținute pe substraturi din sticlă la temperatura de cameră. Temperatura de evaporare a materialului $\underline{A}S_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ constantă în timpul evaporării a asigurat menținerea unei rate de condensare constante în timpul perioadei de evaporare. Grosimea straturilor depuse preliminar a fost determinată de timpul de evaporare. Distribuția uniformă a grosimii pe întregul strat a fost, de asemenea, asigurată prin selectarea distanței dintre substrat și evaporator (21 cm). Pelicule amorfe Au fost obținute transparente cu grosimi de 125 ÷ 2000 nm. Structura materialului masiv și a peliculelor subțiri investigate prin metoda XRD arată că toate materiale sunt amorfe.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analiza cantitativă și distribuția componenței elementale a compoziției As45S15Se40)1-xSnx, x=(0 -- 0.10).

Probele au fost analizate utilizând spectroscopia de raze X cu dispersie de energie (EDS) în două moduri: cartografierea ariei probei și statistica profilului compoziției cantitative pe aceeași suprafață. Analiza cantitativă a fost efectuată la o mărire de x20K. Proba cu peliculă subțire prezintă o morfologie a suprafeței netede (Fig. 1). Variațiile de contrast observate în imagini indică o distribuție uniformă a celor patru componente (Sn, As, S, Se) în materialul final. După cum arată imaginile probei investigate, nu se observă variații de neomogenitate. Se observă o distribuție spațială destul de uniformă a elementelor (Fig. 1).



a

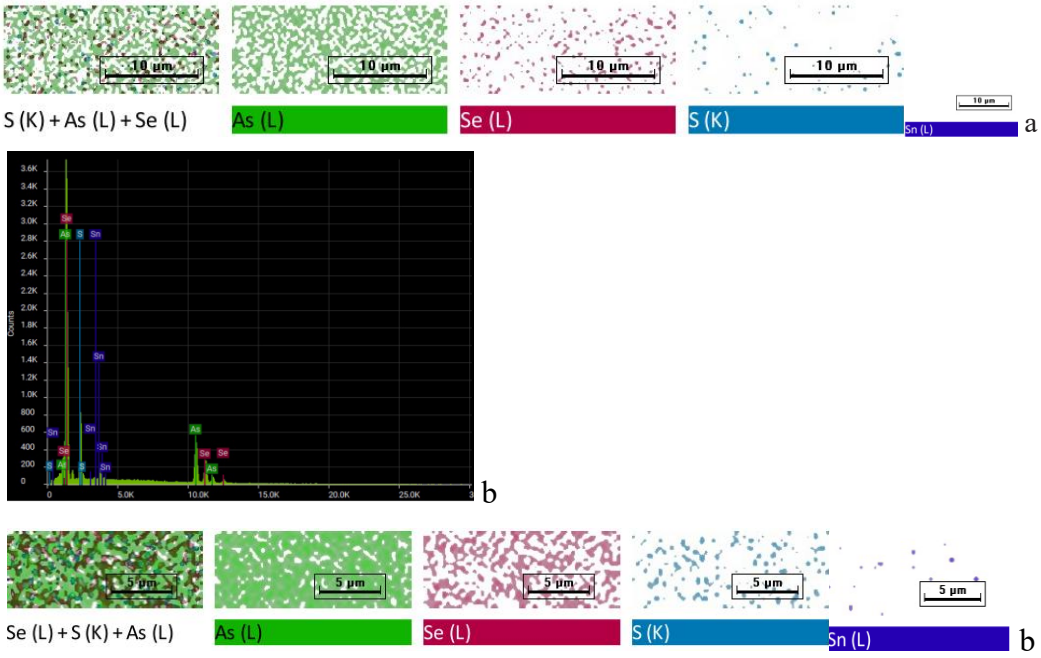


Figura 1. Imaginile și distribuția elementelor pe arie a straturilor subțiri $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 (a) și 0.1 (b))

Se observă o bună coincidență a procentelor elementală medii măsurate ale componentelor cu cele calculate (Tab. 1). Măsurătorile compoziției elementale în diferite locuri ale probei au arătat aceeași compoziție, ceea ce confirmă în continuare și omogenitatea elementară a probelor și a confirmat compozițiile materialelor $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 – 0.1). Precizia elementală a analizei EDS este de 0.02%. Tab.1 arată că compoziția chimică corespunde valorilor medii pentru toate compozițiile investigate. Există o diferență nesemnificativă în compoziția probelor.

Tabel 1. Statistica EDS și analiza cantitativă elementale a compozițiilor pe aria straturilor subțiri $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 – 0.10)

x =		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10
$As_{45(1-x)}$	Calc., %	45	44.55	44.1	43.65	43.2	42.75	42.3	41.85	40.5
	Media măsurată,%	44.71	44.30	43.91	43.33	40.02	42.10	41.58	41.08	39.91
$S_{15(1-x)}$	Calc., %	15	14.85	14.7	14.55	14.4	14.25	14.1	13.95	13.5
	Media măsurată,%	15.21	14.19	14.91	14.84	14.82	14.53	14.40	14.21	13.90
$Se_{40(1-x)}$	Calc., %	40	39.6	39.2	38.8	38.4	38	37.6	37.2	36
	Media măsurată,%	40.41	40.10	39.61	39.10	38.92	38.50	37.63	37.25	36.55

Sn_x	Calc., %	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10
	Media măsurată,%	0	0	0.01	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09

Măsurările XRD a probelor masive în formă de pulbere

Fig. 2 prezintă graficul măsurărilor distribuției intensității de difracție a razelor X pentru compoziția $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x = 0 – 0.1), în care se evidențiază vârfuri largi specifice materialelor sticloase și amorfe cu maximele la 2θ = 18, 33, 55, și 90 ^{0}. Apariția vârfurilor largi, fără maxime ascuțite, confirmă natura amorfă a materialului. Rețeaua XRD de material vitros este construită din unități piramidale trigonale $AsS_{3/2}$, $AsSe_{3/2}$, care sunt interconectate prin punți As-S-Se-As [8]. Aceste vârfuri sunt generate de ordinea pe distanțe scurte a componentelor compozite în rețeaua amorfă. Influența adaosului lui Sn nu se observă în difracția XRD în compozitul amorf.

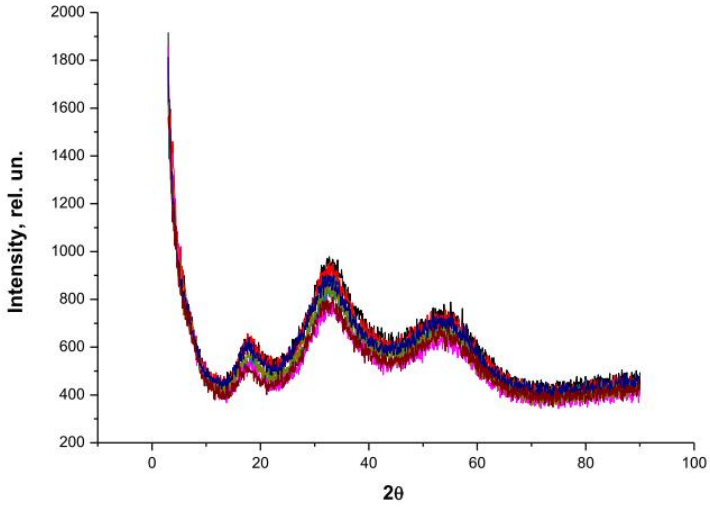


Figura 2. Măsurările difracției razelor Roentgen probelor pulbere pentru compoziția $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x = 0 – 0.1)

Transmisia optică

Spectrul de transmisie optică T(λ) al straturilor subțiri de $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 – 0.1) în intervalul 500 – 900 nm este prezentat pe Fig.3, 4. Diapazonul spectral al transmisiei are trei domenii: la inițială îi cauzată de absorbția lui Urbach, ulterior cauzată de pragul de absorbție și urmată de efectele oscilatoare a T(λ) care apar datorită reflexiilor multiple dintre interfețele unei pelicule subțiri cu aerul și substratul, atunci când grosimea peliculei este apropiată de lungimea de undă a luminii. Ultimul efect produce interferență în spectrul de transmisie. La lungimi de undă mai mari decât banda interzisă și neglijând absorbția și împrăștierea luminii în domeniul IR, valorile maxime de

transmisie corespund transmisiei substratului singur, în timp ce transmisia minimă apare atunci când reflexiile celor două suprafețe ale peliculei interferează în faza opusă.

Spectrele pragului de absorbție optică (Fig. 3) ale sistemului $\underline{As_{45}}\underline{S_{15}}\underline{Se_{40}}$ cu adaos de staniu sunt asemenea ca ale sistemului fără staniu (x=0) și sunt caracteristice semiconductorilor chalcogenici amorfi.

Coeficientul de absorbție α optică α a fost calculat din graficul T(λ) după legea lui Bouguer – Lambert-Beer cu formula $T=T_0e^{-\alpha d}$ de aici $\alpha = \ln(T_0/T)/d$, unde T_0 este transmisia inițială a straturilor.

Pragul de absorbție optică a fost analizat cu ajutorul graficului lui J. Tauç [9]:

$$(\alpha h\nu)^m = A(h\nu - E_g), \quad (1)$$

unde A este parametrul lățimii franjei care caracterizează calitatea si parametrii peliculei.

Intervalul de energie optică al materialului este calculat din tangenta părții liniare a acestei relații. Calculele efectuate din grafic dau valorile pentru A1= 571 $eV^{-1/2}cm^{-1/2}$ (x=0) și A2= de 600 $eV^{-1/2}cm^{-1/2}$(x=0.1). Indicele m este determinat de tipul de tranziție optică în material. În cazul nostru m are valoarea 1/2 ceea ce se conclude pentru tranziția directă permisă a electronilor. Această dependență oferă o valoare corectă a intervalului de bandă optică E_g, determinată ca diferența de energie dintre începuturile cozilor exponențiale ale benzilor de conducție permise [10, 11]. Energiile benzii interzise E_g a fost determinată prin extrapolarea porțiunii liniare a graficului Tauc (1) (Fig. 4b) și pentru tranziție directă permisă. E_g = 1.96 și 2.04 eV pentru x=0 și 0.1 de staniu.

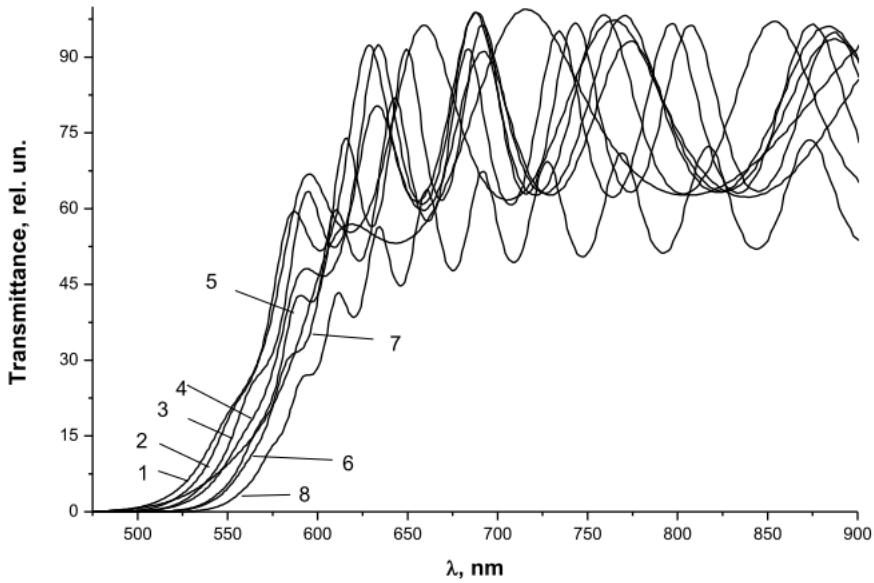


Figura 3. Spectrele de transmisie al straturilor subțiri $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ x=0 (1), 0.01 (2), 0.02 (3), 0.03 (4), 0.04 (5), 0.05 (6), 0.07 (7), 0.10 (8)

ab c

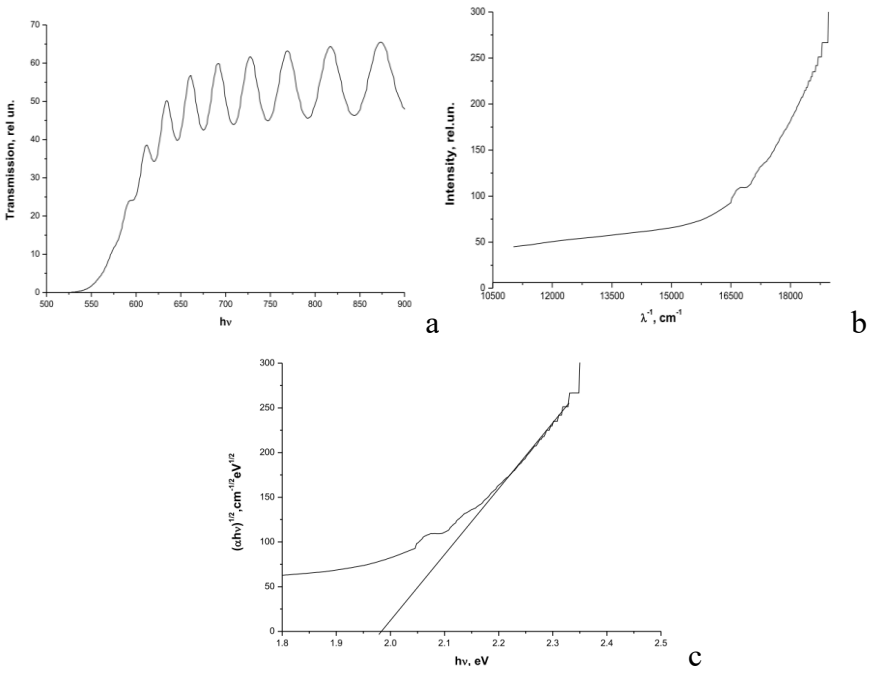


Figura 4. Spectrele de transmisie a peliculei subțiri amorfe $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0) (a), de absorbție (b) și dependența spectrală în coordonatele lui Tauc (E_g = 1.98 eV), (c). Grosimea probei d=1982 nm

Materialul vitros a straturilor subțiri de compoziție $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 și 0.1) a fost expus iluminării cu lumină violetă a laserului cu λ=532 nm și puterea 120 mW timp de 30 minute. După aceea, a fost măsurat spectrul de transmisie. Sub expunerea luminii, s-a observat sensibilitatea la iradierea cu lumină violetă cu o deplasare spre roșu a marginii fundamentale de absorbție optică cu ~ 10 -15 nm.

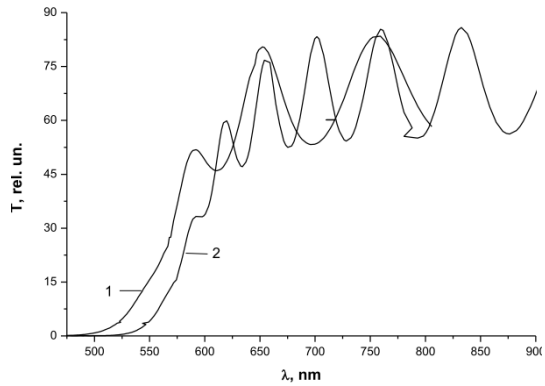


Figura 5. Spectrele de transmisie ale peliculei subțiri amorfe $As_{45}S_{15}Se_{40}$ inițial (1) și după expunerea cu lumină ultravioletă (2)

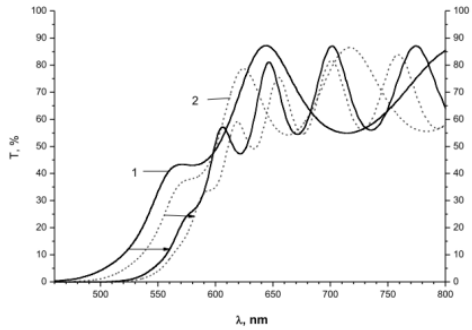


Figura 6. Spectrele de transmisie ale peliculelor subțiri amorfe $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ cu (x=0 (1) și 0.1 (2) inițial și după expunerea cu lumina ultravioletă

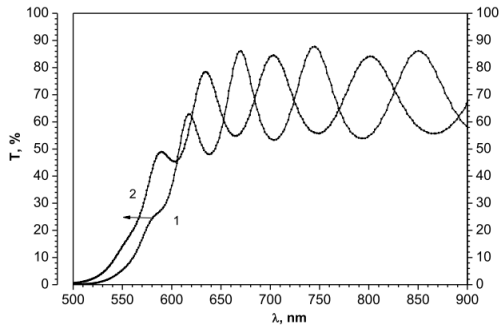


Figura 7. Spectrele de transmisie ale peliculelor subțiri amorfe $As_{45}S_{15}Se_{40}$, după expunerea luminii violete inițial (1) și ulterior după tratarea termică (2)

Acțiunile cu lumina UV și tratarea termică aduce la o deplasare reversibilă. Din spectrele de transmisie (Fig. 7) este evident că tratamentul termic și expunerea la lumină a probelor duce la o deplasare inversă a marginii de absorbție în poziție inițială și recoacerea peliculelor subțiri vitroase de $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x=0 – 0.1). Dependența T(λ) se aproape de poziția inițială și nu se observă modificările constantelor optice.

Conform explicației efectului de fotoîntunecare din [12], după iluminarea cu lumină a peliculei are loc reacția de polimerizare. Efectul polimerizării la fotoîntunecare duce la diferite aplicații practice: modificare a materialului duce la mărirea ratei de gravare a peliculei subțiri cu soluții alcaline [13, 14]. În acest caz, fotopolimerizarea este considerată a fi principalul mecanism care duce la aceste modificări. Investigațiile detaliate și a unei serii de modele avansate pentru interpretarea fenomenului de fotoîntunecare în peliculele de sticlă calcogenică sub iluminare nu au o explicație clară până în prezent [15]. Probabil deplasarea spre roșu a marginii de absorbție, care indică îngustarea spațiului optic al peliculei la fotoîntunecare, se datorează lărgirii benzii de valență, al cărei vârf este format în principal de stări cu deplasării lor relative. Atomul de calcogen cu legături duble covalente posedă o pereche singulară de electroni, care

parțial sunt libere în sticlă. Aceste legături sunt rupte sub iluminare UV, iar numărul lor se modifică după relaxare.

CONCLUZII

A fost realizată sinteza și caracterizarea compozițiilor vitroase $As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ (x = 0 – 0,1) sub formă masivă și pelicule subțiri. Studiile structurale au confirmat natura amorfă și omogenă a materialelor obținute, iar investigațiile optice au arătat o transparență ridicată și o bună stabilitate a parametrilor spectrali. Efectele fotoinduse observate deschid perspective pentru utilizarea acestor materiale în memorii optice, rețele fotonice și aplicații IR avansate. De asemenea, aceste efecte induse de iradiere cu lumina violetă pot fi utilizate pentru a forma diverse componente optice, inclusiv ghiduri de undă și rețele de suprafață, legături homo- și heteronucleare care afectează densitatea amorfă a defectelor de stare.

REFERINȚE:

1. FERDINAND CHRISTY A., SHEKHAWAT M.S., Models of Disordered Matter: A Brief Overview In book Kurt Binder and Walter Kob, Glassy Materials and Disordered Solids: An Introduction to Their Statistical Mechanics, World Scientific, Hackensack, NJ, 171 (2005).`
2. SANGEETHA G., A.G. GAYATHRI et al., Ge rich Chalcogenide material for Non volatile memory applications.Materials Today-Proceedings, 2999 (2017); https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.182
3. M. S. IOVU, S. D. SHUTOV, and M. POPESCU. Optically and thermally induced modifications of the optical constants of amorphous $(As_4S_3Se_3)_{1-x}Sn_x$ thin films, J. Non-Cryst. Sol., 299-309, 924, (2002).
4. IASENIUC OXANA. Phenomena of photoconductivity in amorphous $(As_4S_3Se_3)_{1-x}Sn_x$ thin films Materials Science and Condensed Matter Physics Editia 7. 2014. Chișinău, Republica Moldova.
5. YOVU M., SERGEEV S., IASENIUC O.. Electron-beam recording of the diffraction gratings in the $(As_4S_3Se_3)_{1-x}Sn_x$ amorphous thin films Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications Nr. 7-8(12) / 2018 / ISSN 1842-6573 /ISSNe 2065-3824
6. Research Methodology of Cognitive Market Research [https://www.cognitive-marketresearch.com/research-methodology]
7. IASENIUC O., YOVU M. Study of Some Photoelectrical Properties of $(As_4S_3Se_3)_{1-x}Sn_x$), In book "Amorphous Thin Films Multidisciplinarity in Modern Science for the Benefit of Society" 2017. Chișinău, Republica Moldova. ISBN 978-9975-9787-1-2.
8. Iaseniuc O., Yovu M., Sergeev S., Cojocaru I., Prisakar A., Photoinduced effects and recording of diffraction gratings in amorphous (As4S3Se3)1-x:Snx

thin films,. In book: Materials Science and Condensed Matter Physics, Ed. 7, 16-19 septembrie 2014, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Institutul de Fizică Aplicată, 2014, Ediția 7, p. 256.

9. IASENIUC O., Effects of the annealing and exposure on the optical and photo-induced properties of amorphous $(As_4S_3Se_3)_{1-x}Sn_x$ thin films Nanotechnologies and Biomedical Engineering Editia 2. 2013. . ISBN 978-9975-62-343-8.
10. TAUC J., The optical properties of solids, North-Holland, Amsterdam, 1970.
11. TANAKA KEIJI, Structural phase transitions in chalcogenide glasses. Phys. Rev. B 39(2), 1270 (1989).
12. KOSTYUKEVYCH S. Fabrication of holographic diffraction gratings based on As2S3 layers. Technical Physics, 2003, vol. 48, no. 1, p. 115–117.
13. JAIN H., VLCEK M., Glasses for lithography, J. Non-Cryst. Solids 354 (2008) 1401-1406.
14. LYUBIN V.. Chalcogenide glassy photoresists: History of development, properties, and applications, Phys. Status Solidi (b), 246 (2009). 1758-1767.
15. DE NEUFVILLE J.P., MOSS S.C., OVSHINSKY S.R., Photostructural transformations in amorphous As_2Se_3 and As_2S_3 films, J. Non-Cryst. Solids, 13 (1974) 191-223.

CARACTERIZAREA FILMELOR SUBȚIRI DE ZnO PE SUPORTURI DE MgO (100) PRIN METODA GENERĂRII ARMONICII OPTICE SECUNDE

CHARACTERIZATION OF ZnO THIN FILMS ON MgO (100) SUPPORTS BY THE OPTICAL SECOND HARMONIC GENERATION METHOD

CZU: 539.23 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.114**

Alexandru MICU
ORCID: 0009-0006-5059-3213
E-email: alexandru.vasile.micu@gmail.com
Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Zinc oxide thin films grown by modified spray pyrolysis technique on MgO(100) substrates have been investigated by optical second harmonic generation (SHG). ZnO films were giown at a substrate temperatures from 300 to 600 °C. It was found to influence the structure of the textured films. Dependence of second harmonic intensity on angle of fundamental beam incidence revealed both a- and c-axis oriented growths in ZnO thin films. Effective nonlinear optical susceptibility coefficients as high as 0.5 pm/V have been obtained from as-grown films. SHG polarization dependencies was carried out to show in-plane anisotropy in investigated films.*

Keywords*: Zinc Oxyde Thin Films, Optical Second Harmonic Generation, Spray Pyrolysis Technique.*

INTRODUCERE

Oxidul de zinc este un material cu un mare potențial pentru o varietate de aplicații practice, cum ar fi traductoare piezoelectrice, ghiduri de undă optice, dispozitive cu unde acustice de suprafață, varistoare, fosfori, oxizi conductivi transparenți, senzori chimici și de gaze, dispozitive cu funcționalitate de spin și emițătoare de lumină UV [1-9]. Grație benzii interzise largi (3,37 eV [1]) ZnO este un material promițător pentru aplicații fotonice în domeniile spectrale UV și albastru.

Este de menționat faptul că principalele tehnici de depunere, cum ar fi depunerea chimică din fază de vapori metalorganici [2, 10], pulverizarea catodică [3,6,11], depunerea cu laser pulsat [4] utilizate pentru creșterea filmelor subțiri de ZnO, sunt sofisticate și costisitoare în comparație cu tehnica pirolizei prin pulverizare.

În această lucrare, sunt prezentate rezultatele caracterizării filmelor subțiri de ZnO pe substrat de MgO crescute prin tehnica modificată de piroliză prin pulverizare folosind metoda optic-neliniară de generare a armonicii secunde optice (GAS). Motivul investigării peliculelor subțiri de ZnO a fost determinat de potențiala lor aplicație în calitate de dublori de frecvență optică în ghiduri de undă. Alegerea MgO ca substrat a

fost condiționată de compromisul dintre o nepotrivire acceptabilă a rețelelor cristaline ale materialelor structurii planare ZnO/MgO și obținerea unei diferențe rezonabile a valorilor indicilor de refracție.

MATERIALE ȘI METODE

Au fost cercetate filme subțiri preparate utilizând tehnica modificată de piroliză prin pulverizare. Acetatul și acetilacetonatul de zinc dizolvați în alcool metilic au fost utilizați drept soluții precursoare. Aerosolul acestor soluții, produs cu ajutorul unei duze pneumatice speciale, era direcționat pe substraturile cristaline de MgO(100) proaspăt despicate din monocristal masiv, cu dimensiunile de aproximativ 15x15x0,5 mm^3. Depunerea filmelor de ZnO se efectua la temperaturi ale substratului cuprinse între 300 și 600°C, iar durata procesului tehnologic era de câteva minute. Grosimile tipice ale filmelor cercetate erau de 120-300 nm. Eșantioanele de ZnO/MgO aveau suprafețe netede, cu aspect de oglindă, spectrele de transmisie optică manifestând transparență totală, de circa 100% în intervalul lungimilor de undă 0.47-1,1 μm.

Configurația instalației experimentale folosite pentru măsurătorile semnalului armonicei secunde optice (AS) în transmisie este prezentată în Fig. 1a. Un laser YAG:Nd monomod pulsat cu lungimea de undă λ_ω= 1064 nm, comutare Q și frecvență de repetiție de 14 Hz, a fost utilizat drept sursă de radiație fundamentală (frecvența ω) pentru experimentele GAS. Durata impulsurilor laser constituia circa 20 ns, energia unui impuls fiind menținută sub 10 mJ spre a evita deteriorarea optică a eșantioanelor (filmelor subțiri). Pentru a separa semnalul armonicei secunde optice $I_{2\omega}$ de radiația fundamentală a laserului I_ω erau utilizate filtre optice cu caracteristici spectrale adecvate și un monocromator cu rețea de difracție. Radiația cu intensitatea $I_{2\omega}$ și lungimea de undă $\lambda_{2\omega}$= 532 nm era detectată de un fotomultiplicator cu preamplificator rapid, înregistrarea și medierea semnalelor fiind asigurată de un ”Boxcar integrator” și osciloscop digital. Rotirea planului de polarizare a fasciculului fundamental se efectua folosind o pereche de romburi Fresnel. Eșantionul era montat pe o platformă rotativă. Semnalul optic al armonicei secunde polarizat *p* sau *s* era selectat de un analizor Nicol amplasat în fața fantei de intrare a monocromatorului.

Întreg procesul de măsurători efectuat cu ajutorul instalației experimentale descrise era pilotat/monitorizat prin calculator.

Pentru a estima valorile coeficienților optic-neliniari efectivi, d_{eff}, ai filmelor, drept referință era folosit semnalul armonicii secunde (AS) generat de o plachetă cristalină de cuarț *Y*-tăiată. Grosimile filmelor de ZnO investigate erau cu aproximativ un ordin de mărime mai mici decât lungimea de coerență a cristalelor masive de ZnO ($l_{coh} = \frac{\lambda_\omega}{4\pi[n(2\omega)-n(\omega)]} = 3\mu m$). În acest caz, valorile efective ale coeficienților d_{eff} pentru filmele subțiri de ZnO pot fi calculate cu o bună aproximare folosind formula [12]

$$d_{eff} \approx d_{11.q} l_{coh.q}/l_f \left[n(2\omega)n^2(\omega)I_f/n_q(2\omega)n_q^2(\omega)TI_q\right]^{1/2}, \qquad (1)$$

unde $d_{11.q}$ (≈0,36 pm/V) [11] este coeficientul optic-neliniar al cuarțului, $l_{coh.q}$(≈20 μm) – lungimea de coerență a cuarțului, l_f – grosimea peliculei, $n(\omega)$ și $n(2\omega)$ sunt indicii de refracție ai oxidului de zinc la frecvențele fundamentală și, respectiv, a armonicii secunde, $n_q(\omega)$ și $n_q(2\omega)$ sunt indicii de refracție ai cuarțului la aceleași frecvențe, I_f și I_q sunt intensitățile armonicei secunde măsurate pentru filmul de oxid de zinc și, respectiv, pentru cuarț, *T* este factorul de transmisie al filmului/substratului.

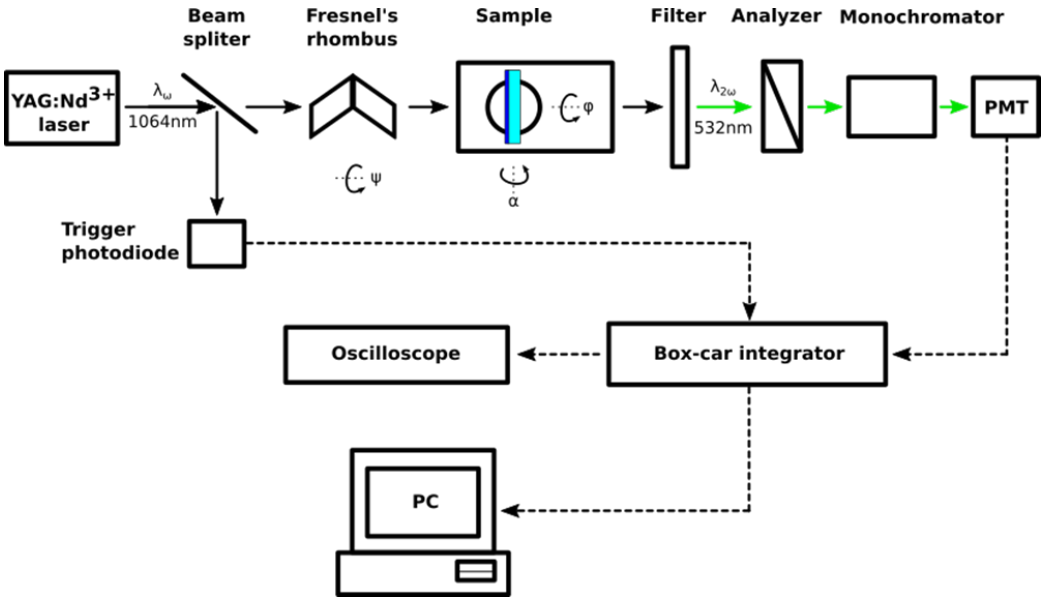


Figura 1. Schema configurației experimentale pentru măsurători ale armonicei secunde optice în transmisie

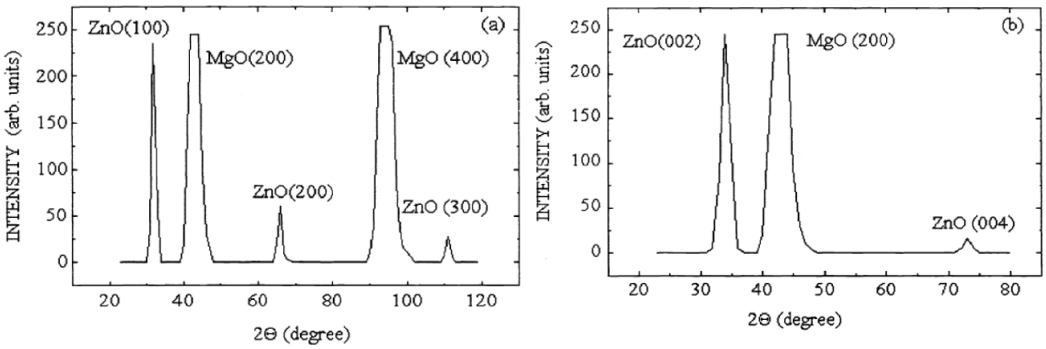


Figura 2. Difractogramele razelor X ale filmelor subțiri de ZnO depuse pe substraturi de MgO (100) încălzite la 350°C: (a) soluția precursoare – acetatul de Zn în alcool metilic, (b) soluția precursoare – acetylacetonatul de Zn în alcool metilic

Conform măsurătorilor cu raze X (Fig.2), toate filmele obținute sunt puternic texturate, caracterul texturilor fiind foarte sensibil la temperatura substratului și la compoziția precursorului. Filmele crescute pe substraturi încălzite la temperaturi de 300-350°C utilizând acetatul de Zn în alcool metilic ca reactiv, prezintă doar liniile XRD (100), (200) și (300), manifestând orientare de-a lungul axei *a* (Fig. 2(a)). În intervalul de temperaturi ale substratului de 400-600°C, set observă liniile XRD (100), (002) și (101), iar în cazul filmelor depuse utilizând Zn-acetilacetonatul ca precursor pe substraturi cu temperatura între 350 și 500°C, se manifestă doar liniile (002) și (004), ceea ce corespunde orientării microcristalelor în direcția axei *c* (Fig. 2(b)).

Procesul optic-neliniar de generare a AS în materiale cristaline este foarte sensibil la proprietățile de simetrie a rețelei cristaline [12-14]. Presupunând că tensorul susceptibilităților optic-neliniare care descrie procesul GAS are aceeași formă pentru filmele subțiri de ZnO și pentru cristalele de ZnO masive (grup de simetrie $6mm$), componentele polarizării de ordinul doi pot fi scrise sub formă de matrice, după cum urmează [12,13]:°

$$\left[P_x\ P_y\ P_z\right] = 2\left[0\ 0\ 0\ 0\ d_{15}\ 0\ 0\ 0\ 0\ d_{15}\ 0\ 0\ d_{31}\ d_{31}\ d_{33}\ 0\ 0\ 0\right] \cdot \left[E_x^2\ E_y^2\ E_z^2\ \ 2E_yE_z\ 2E_xE_z\ 2E_xE_y\right] \quad (2)$$

REZULTATE EXPERIMENTALE ȘI ANALIZĂ

Dependența intensității AS de unghiul de incidență α al fasciculului fundamental pe suprafața eșantionului – dependența $I^{SH}(\alpha)$, a relevat prezența a două tipuri de filme de ZnO crescute pe substraturi de MgO. Fig. 3(a) reprezintă dependențele $I_{pp}^{SH}(\alpha)$ pentru cazul, când atât fasciculul fundamental, cât și cel al semnalului AS sunt *p*-polarizate, măsurate pentru filmele orientate în direcția axei *c* (axa *c* este perpendiculară suprafeței filmului), precum și pentru filmele orientate pe axa *a* (axa *c* aflându-se în planul filmului). Rezultatele observate experimental sunt în concordanță deplină cu cele calculate folosind ecuațiile:

$$I_{pp}^{SH}(\alpha) \propto A\left[sin\ sin\ \alpha\ (Bcos^{\,2}\alpha + \alpha) - C\sqrt{n^2(2\omega) - \alpha}\ \cdot sin\ sin\ 2\alpha\right]^2$$

– pentru filmele orientate în direcția axei ***c*** (3a);

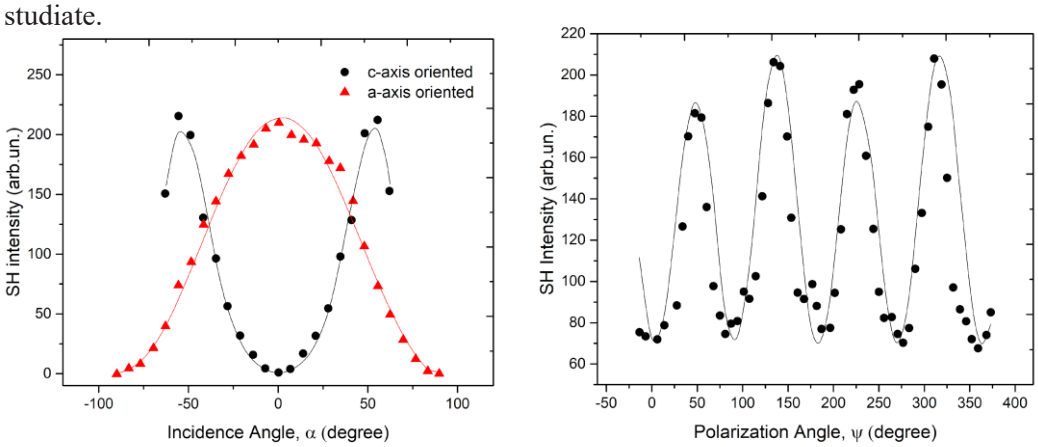
$I_{pp}^{SH}(\alpha) \propto cos^{\,2}\alpha$ – pentru filmele orientate în direcția axei *a* (3b).

unde A este parametrul de ajustare, iar B și C – parametri determinați de coeficienții d.

Din dependența intensității semnalului AS *s*-polarizat de unghiul de polarizare ψ al razei fundamentale $I_s^{SH}(\psi)$ este posibil de a obține informații despre orientarea axei *c* în planul filmului. Figura 3(b) prezintă intensitatea AS *s*-polarizate, generată de filmul orientat pe axa *a*, în funcție de unghiul de polarizare a fasciculului fundamental ψ, cu incidență perpendiculară suprafeței filmului ($\alpha = 0\alpha = 0$). Rezultatele experimentale obținute sunt bine descrise de următoarea ecuație:

$$I_s^{SH}(\psi) \propto A[-B\ cos\ cos\ \rho\ (\psi+\rho)\ -cos\ cos\ \rho\ (\psi+\rho)\ + C\ \ sin\ sin\ \rho\ \cdot sin\ sin\ 2(\psi+\rho)\ ]^2 \quad (4)$$

unde ρ este parametrul corespunzător unghiului dintre axa de transmisie a analizorului (axa Y a sistemului de coordonate de laborator) și axa Z (axa *c*) a filmului. Cea mai bună ajustare în baza ecuației (4) și datele experimentale din Fig. 3b se obține pentru $\rho = 90{,}3°$. Datele experimentale din Fig. 3b atestă o anizotropie în planul peliculelor studiate.



(a) (b)

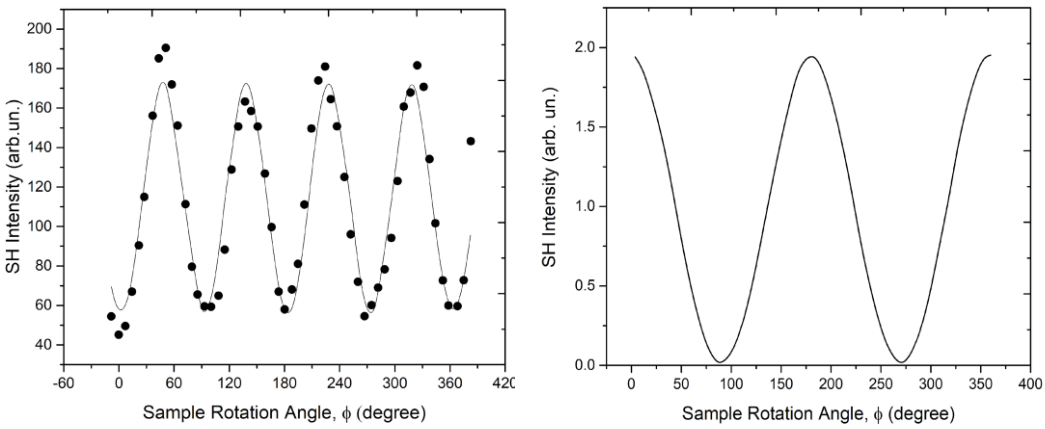
Figura 3. (a) Dependențele unghiulare $I_{pp}^{SH}(\alpha)$ pentru filmele de ZnO orientate în direcția axelor *c* (cerculețe) și *a* (triunghiuri) depuse/w crescute pe MgO (100). Liniile continue reprezintă ajustările teoretice conform ecuațiilor (3a) și (3b).
(b) Intensitatea AS *s*-polarizate generate într-un film orientat pe axa *a*, în funcție de unghiul de polarizare a fasciculului fundamental ψ, $I_s^{SH}(\psi)$: triunghiuri – datele experimentale; linia continuă – ajustarea calculată (ecuația 4).

Figura 4(a) prezintă intensitatea AS *s*-polarizate, generată de fasciculul fundamental *s*-polarizat, în funcție de unghiul de rotație al probei φ, în geometria de transmisie. Fasciculul fundamental cu incidență perpendiculară suprafeței filmului orientate de-a lungul axei *a* – $I_{ss}^{SH}(\varphi)$. Eșantionul era rotit la $360°$ în jurul normalei sale. Se observă că dependența de rotație posedă patru vârfuri cu un piedestal izotrop.

Presupunând că toate microcristalele de ZnO cu textura *a* au axele *c* orientate în planul filmului într-o singură direcție, următoarea expresie pentru intensitatea AS a fost derivată luând în considerare geometria experimentală actuală:

$$I_{ss}^{SH}(\varphi) \propto A[d_{33}(\varphi) + (2d_{15} + d_{31})\, cos\, cos\, \varphi\, \varphi\,]^2 \qquad (5)$$

Figura 4b prezintă această dependență grafic, folosind valorile elementelor tensoriale GAS pentru ZnO masiv (d_{15} = 2,32, $d_{31} = 2{,}1$ și $d_{33} = 7{,}0$) [13]. Se observă că dependența rotațională calculată este vădit diferită de cea experimentală din Fig. 4a, ceea ce permite de a propune următorul model pentru a corela dependența rotațională experimentală a intensității AS cu orientarea microcristalelor de ZnO în planul filmului. Având în vedere că MgO este un cristal cubic și suprafața substratului de MgO(l00) aparține grupului punctual $4m$, este rezonabil de a sugera existența a două direcții preferențiale



(a) (b)

Figura 4. (a) Intensitatea semnalului AS *s*-polarizat generat de fasciculul fundamental *s*-polarizat în funcție de unghiul de rotație φ al eșantionului $I_{ss}^{SH}(\varphi)$: cerculețe – datele experimentale; linia continuă reprezintă rezultatul calculului în baza ecuației (5). (b) Dependența intensității semnalului armonicii secunde de unghiul de rotație φ, calculată pentru filmul de ZnO cu textură *a* (ecuația (5)).

reciproc perpendiculare pe suprafața substratului, de-a lungul cărora microcristalitele de ZnO se pot orienta. S-ar putea vorbi despre două posibile orientări ortogonale (două variante) ale microcristalelor de ZnO pe substratul de MgO(100). De asemenea, se presupune că distribuția în plan a acestor variante este aleatorie și deci nu există o interacțiune de interferență coerentă între semnalele AS generate de aceste două variante de ZnO.

$$I_{ss}^{SH}(\varphi) \propto A\left[\frac{5}{8}\cdot d_{33} + \frac{1}{4}\cdot(2d_{15}+d_{31})d_{33} + (2d_{15}+d_{31})^2 + \left(\frac{3}{8}\cdot d_{33} - \frac{1}{4}\cdot(2d_{15}+d_{31})d_{33} - (2d_{15}+d_{31})^2\right) cos\, cos\,(4\varphi)\right], \quad (6)$$

Cea mai bună ajustare (linia continuă în Fig. 4b) la datele experimentale prezentate în aceeași figură este obținută pentru $d_{33} \approx 1.4$ și $2d_{15} \approx 3.5$. Se observă că valoarea coeficientului d_{33} al filmului este mult mai mică decât valoarea d_{33} de referință, stabilită pentru oxidul de zinc masiv, iar valoarea $(d_{31} + 2d_{15})$ a filmului este doar puțin mai mică decât valoarea corespunzătoare oxidului de zinc masiv. Prin urmare, este relevantă sugestia că proprietățile structurale ale filmelor subțiri sunt modificate în raport cu proprietățile volumice, în principal în direcțiile în plan, în timp ce proprietățile legate de direcția normală sunt mai puțin modificate.

Coeficienții efectivi d_{eff}, calculați folosind ecuația (1), ating valoarea de până la 0,5 pm/V pentru filmele orientate în direcția axei *a* și până la 0,3 pm/V pentru filmele orientate în direcția axei *c*. Aceste valori sunt mult mai mici decât valorile stabilite pentru oxidul de zinc masiv [13]. Nepotrivirea rețelelor cristaline ale stratului de ZnO și substratului de MgO ar putea duce la deformarea filmului și, ca consecință, diminua

valorile coeficienților efectivi d_{eff}. Pe de altă parte, valorile scăzute ale coeficienților efectivi pentru peliculele subțiri pot fi cauzate de dimensiunea medie a microcristalului. Dacă această dimensiune a microcristalelor este mult mai mică decât lungimea de coerență l_{coh} în materialul masiv, atunci și valoarea medie a coeficientului d_{eff} în filmul subțire de ZnO va fi mult mai mică decât cea a monocristalului masiv.

CONCLUZII

A fost stabilit că filmele subțiri de ZnO crescute pe substraturi de MgO(100) au o orientare preferențială fie normală suprafaței filmului (orientare conform axei cristalografice *c*), fie în planul filmului (orientare de-a lungul axei *a*), în funcție de temperatura substratului și compoziția precursorului. Coeficienții optic-neliniari eficienți d_{eff} ai filmelor sunt considerabil mai mici decât cei ai oxidului de zinc masiv. Tensiunile mecanice din filme și dimensiunile mici ale microcristalelor de ZnO sunt motivele posibile care determină valorile scăzute ale coeficientului d_{eff} pentru filmele subțiri. Modelul fenomenologic dezvoltat și aplicat în lucrare permite de a descrie adecvat corelațiile dependențelor unghiulare și rotaționale experimentale ale intensității radiației armonicii secunde cu orientarea microcristalelor de ZnO în planul filmului subțire.

REFERINȚE:

1. D. EZGFR, YA. I. ALIVOV, C. LIU, A. TEKE, M. A. RESHCHIKOV, S. DOG˘AN, V. AVRUTIN, S.-J. CHO, H. MORKOA, A comprehensive review of ZnO materials and devices, *J. Appl. Phys*. Vol. 98, 041301 (pp. 1-103), 2005.
2. R. TRIBOULET, J. PERRIERE, Epitaxial growth of ZnO films. *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* Vol. 47, pp. 65-138, 2003.
3. A HACHIGO, H. NAKAHATA, K. HIGAKI, S. FUJII and S. SHIKATA, Heteroepitaxial growth of ZnO films on diamond (111) plane by magnetron sputtering*, Appl. Phys. Lett.,* Vol. 65, No. 20, pp. 2556-2558, 1994.
4. V. CRACIUN, J. ELDERS, J.G.E. GARDENIERS and I.W. BOYD, Characteristics of high quality ZnO thin films deposited by pulsed laser deposition, *Appl. Phys. Lett.,* Vol. 65, No. 23, pp. 2963-2965, 1994.
5. S. GOTO, N. FUJIMURA, T. NISHIHARA and T. ITO, Heteroepitaxy ofzinc oxide thin films, considering non-epitaxial preferential orientation, *J. Crystal Growth*, Vol. 115, pp. 816-820, 1991.
6. T. ITOH AND T. SUGA, Force sensing micro-cantilever using sputtered zinc oxide thin film, *Appl. Phys. Lett*., Vol. 64, No. 1, pp. 37-39, 1994.
7. 7. Y. KIM, D. HUNT, Y. LIU AND C.K. JEN, Velocity surface measurements for ZnO films over {001}-cut GaAs*, J. Appl. Phys*., Vol. 76, No. 3, pp. 1455-146 1, 1994.
8. A. VALENTINI, F. QUARANTA, M. PEUZA AND F.R. RIZI, The stability

of zinc oxide electrodes fabricated by dual ion beam sputtering, *J. Appl. Phys*., Vol. 73, No. 3, pp. 1143-1145, 1993.
9. A. BAMERJEE, D. WOLF J. YANG AND S. GUHA, High-rate (50 A/s) deposition of ZnO films for amorphous silicon solar-cell back-reflector application, *J. Appl. Phys*., Vol. 70, No. 3, pp. 1692-1694, 1991.
10. N.D. KUMAR, M.N. KAMALASANAN AND S. CHANDRA, Metalorganic chemical vapour deposition technique for growing c-axis oriented ZnO thin films in atmospheric pressure air*, Appl. Phys. Lett*., Vol. 65, No. 11, pp. 1373-1375, 1994.
11. Y. MANABE AND T. MITSUGU, Zinc oxide thin films prepared by the electron-cyclotron-resonance plasma sputtering method, *Jpn. J. Appl. Phys*., Vol. 29, No. 2, pp. 334-339, 1990.
12. Y.R. SHEN, *The Principles of Nonlinear Optics*,Wiley, New York, 1991.
13. RICHARD l. SUTHERLAND, Handbook of Nonlinear Optics, New York, Marcel Dekker Inc. 1996, ISBN0-8247-9426-5.
14. N. BLOEMBERGEN, *Non-linear Optics*, New York-Amsterdam, W.A. Benjamin, Ink. 1965.

THE INFLUENCE OF THE MOON PHASE ON THE DEVELOPMENT OF SOME AGRICULTURAL CROPS

INFLUENȚA FAZEI LUNII ASUPRA DEZVOLTĂRII UNOR CULTURI AGRICOLE

CZU: 523.3:633/635 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.115**

Alisa MOȘNEAGA
ORCID: 0009-0009-2459-3596
E-mail: alisa.mosneaga@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Petru LOZOVANU
ORCID: 0000-0003-3760-5727
E-mail: petrulozovanu@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Mariana SAVVA
ORCID: 0000-0003-0618-5360
E-mail: marianna.savva@usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Această lucrare prezintă rezultatele unui studiu privind influența fazelor lunare asupra absorbției de apă, germinării semințelor și dezvoltării timpurii a culturilor agricole. Trei specii de culturi au fost selectate pentru experiment: grâul (Triticum aestivum L.), porumbul (Zea mays L.) și fasolea comună (Phaseolus vulgaris L.), considerate culturi esențiale pentru majoritatea populației mondiale. Studiul a arătat că semințele plantate în timpul fazei de lună plină au prezentat o perioadă de germinare mai scurtă comparativ cu cele plantate în alte faze ale ciclului sinodic, precum și o rată de germinare mai mare — în medie cu 25% mai ridicată. Faza lunară a influențat, de asemenea, creșterea răsadurilor: plantele dezvoltate în timpul lunii pline au prezentat rate de creștere sporite, măsurate la 7 zile după plantare, cu îmbunătățiri de 15,05% pentru grâu, 26,12% pentru fasole și 30,21% pentru porumb, comparativ cu semințele semănate în faza de lună nouă.*

Cuvinte-cheie: *faze lunare, gravitație luni solară, germinarea semințelor.*

INTRODUCTION

The idea that the lunar cycle influences certain aspects of everyday life, particularly plants and other living organisms, is as old as humanity and continues to be investigated today. Following a series of experimental studies, controversies have emerged among scientists: some dismiss it as an old superstition, while others have attempted to examine phenomena related to moonrise and its possible influence on plants [1–13]. In 1627,

Francis Bacon was among the first researchers to propose that crops should be sown at specific points in the synodic cycle [1]. Over the years, similar but inconclusive experiments have been repeated by other scientists. Published works [2–8] have provided evidence that plants may respond during this cycle to parameters such as germination rate, water absorption, and even changes in the amount of DNA in cell nuclei in relation to synodic values. In 1924, Rudolf Steiner, the founder of biodynamic farming, suggested that sustainable agriculture should not only account for factors such as crop rotations, proper storage, and organic fertilizer, but also cosmic influences. Based on his observations, he indicated a relationship between the position of the moon relative to the sun (synodic rhythm), planting date, and crop growth. Several studies conducted in the 1930s and 1940s sought to test this relationship but reported mixed results [8]. For example, Zürcher's studies showed that germination rate, mean height, and maximum height after four months were systematically linked to the sowing time relative to the moon phase [9, 10]. By contrast, research by Nick Kollerstrom indicated that the synodic cycle does not generally affect crop yield; he concluded that, overall, there is little reliable evidence that sowing at a particular lunar phase significantly influences the final yield [7, 11–13]. Due to the Earth's rotation on its axis and the relative orbital movements of the Earth and the moon around the sun, the Earth's gravitational field is continuously modulated by lunisolar tidal forces. On Earth's surface, this modulation can be observed and measured not only in the daily rise and fall of ocean tides but also in the small elastic deformations of the Earth's crust [14]. Dorda G. postulated a lunar gravity effect on organic structures, arguing that the lunisolar gravitational field modulates the coherent state of water molecules within cells and that these assemblies respond to diurnal variations of the tidal force in a defined manner. Whenever a change in the gravity of the luni-solating is perceived, a certain mass of water molecules shall be released or entered into a coherent assembly. It follows that, as the monthly gravity varies continuously, due to the orbital movement of the earth and the moon, the number of water molecules associated with the coherent state varies similarly within cells [15].

The orbital movement of the moon generates a gravitational field system that periodically changes gravitational force on Earth. This monthly tidal acceleration (Etide) is known to act as an external environmental factor affecting many growth and development phenomena in plants.

EXPERIMENTAL

To assess the effect of lunar cycles on plants, seeds of three agricultural crop species were used: wheat (*Triticum aestivum L.*), maize (*Zea mays L.*), and common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). The experiments were conducted over a four-month period (December 2024 – March 2025) under laboratory conditions. Each day, a batch of 20 seeds was germinated in water, while another batch was planted in soil in vegetation pots. The parameters investigated included seed water absorption, germination dynamics, and the initial growth stage of seedlings.

Prior to the experiments, seeds were weighed and kept for 24 h in a dark, electrically shielded chamber at 18 °C and 35% relative humidity. Daily weighing was performed to determine the variation in seed mass relative to the initial weight. Measurements were taken at 24-hour intervals, and in cases of deviations from the expected trend, additional measurements were conducted every 4 hours.

A key tool for evaluating seed lot performance is the accurate quantification of germination through statistical analysis of cumulative germination data. These indices provide insight into the potential developmental performance of a plant organism.

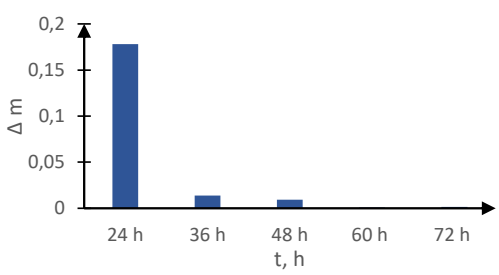
The germination parameters determined were: Final Germination Percentage (FGP), Mean Germination Time (MGT), Coefficient of Variation of Germination Time (CVt), Mean Germination Rate (MGR), Germination Speed (GSP), Germination Rate Index (GRI), Germination Index (GI), Synchronization Index (Z), and Germination Uncertainty (U) [16–19].

RESULTS AND DISCUSSION

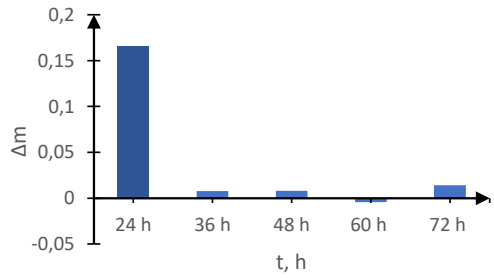
Plants are highly responsive organisms that adapt to environmental changes. They are influenced by numerous, constantly shifting forces, and dynamic biochemical adjustments are essential for survival. One of the fundamental characteristics of seeds during germination is hygroscopicity. Figure 1 shows the variation in the mass of Phaseolus vulgaris L. seeds over time, depending on the lunar phase. As illustrated, seeds absorbed the most water during the first 24 hours, increasing their mass by up to 120% of the initial weight due to osmotic processes within the cells.

To initiate germination, a seed requires an amount of water approximately equal to its own mass. At the point of maximum turgidity, endosmosis ceases even though the vacuolar sap remains hypertonic relative to the external solution.

The minimum points on the graph corresponded to the onset of germination, which varied depending on the lunar phase. Seeds germinated during the full moon phase (fig. 1c) reached this point in about 40 h, whereas those germinated during the new moon phase (fig. 1a) required over 60 h. A clear parallel was observed between water absorption and germination dynamics.



a



b

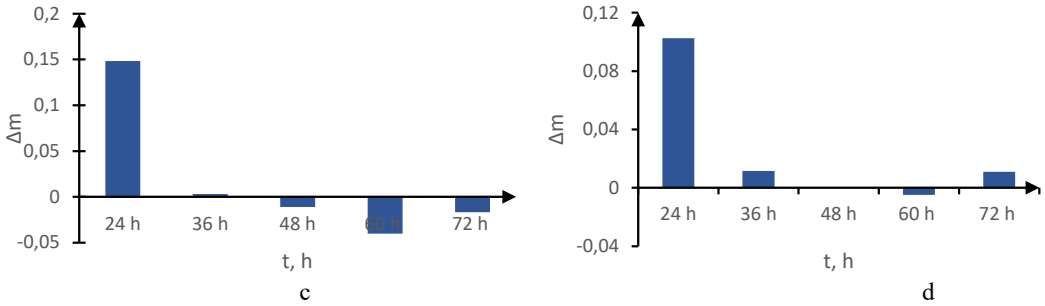


Figure 1. Dependence of the seed variation of Phaseolus vulgaris L. on germination time and moon phase: a – new moon; b – first square; c – full moon; d- last square

Figure 2. Shows the germination rate of Triticum aestivum L., Zea mays L. and Phaseolus vulgaris L. seeds, depending on the phase of the moon after 5 days

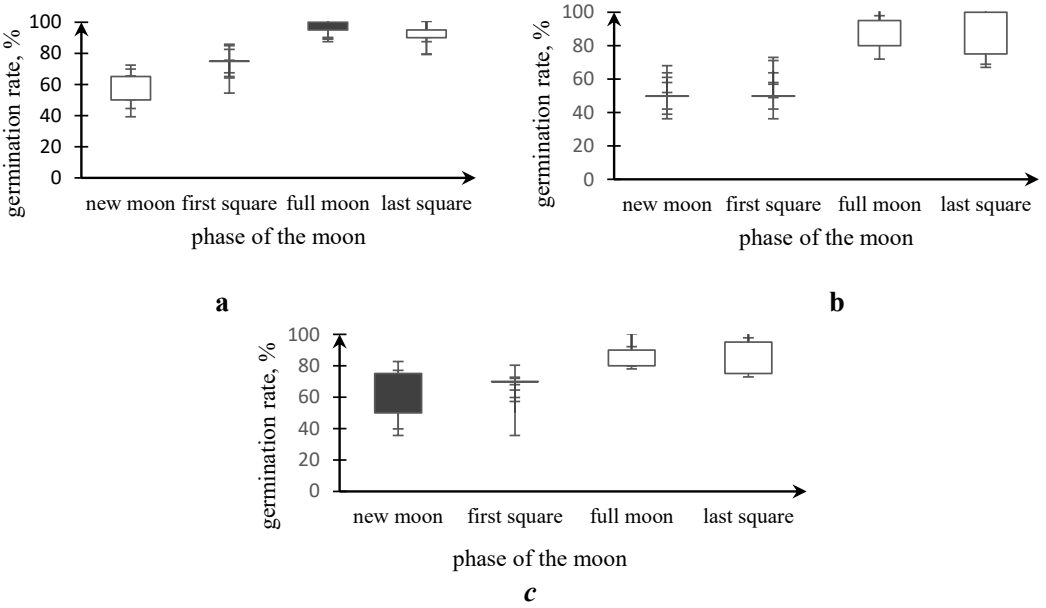


Figure 2. Germination rate of the seeds after 5 days: (A) Triticum aestivum L., (b) Zea mays L. and (c) Phaseolus vulgaris L., depending on the phase of the moon

According to the results, a similar trend was observed for all seed species, with the best performance recorded for *Triticum aestivum L*. The maximum germination rate was obtained from seeds sown during the full moon phase, followed by those germinated in the first quarter, exceeding by an average of 25% the seeds germinated during the new moon and last quarter phases. In the new moon phase, seeds absorbed the largest amount of water, which contributed to delayed germination. These experimental results therefore support Dorda's postulate [15].

After three days of germination, bean seedlings in this group showed elongated roots, with the

radicle emerging around 40 hours and growing relatively rapidly. By the seventh day, bean plants displayed a well-developed root system, a long and robust hypocotyl, and the emergence of the plumule between the two cotyledons.

In maize seedlings, the embryonic roots reached an average length of 3 cm by the third day of germination, with 4–5 secondary roots and, at the hypocotyl level, two adventitious roots emerging near the caryopsis, some penetrating from within the grain itself.

As shown in figure 3, for all studied species the highest germination rate was recorded in seeds germinated during the full moon phase, with the most significant resuls obtained for wheat.

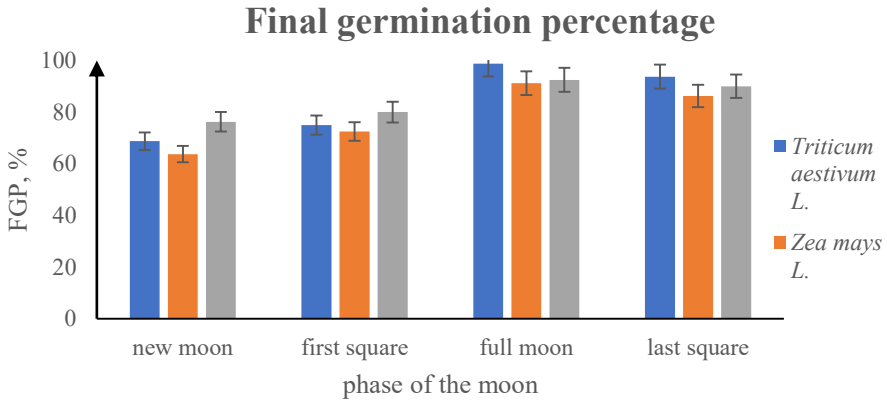


Figure 3. The final germination percentage of the seeds depending on the phases of the moon

Thus, the highest germination rate of 98.75% was obtained for the seeds subjected to germination when the moon is full compared to 68.75% corresponding to the new moon phase. The same trend is observed for the other species, with a difference of 27.5% for corn and 16.25% for beans. For the seeds subjected to germination in the first square phase, compared to the new moon, there was a difference of only 6.25% for wheat, 8.75% for corn and 3.75% for beans. And the position of the moon in the last square influences the germination rate, obtaining values slightly lower than in the full moon phase, but higher than the new moon by 23% for wheat, 22.5 for corn and 13.75 % for beans.

In figure 4 shows the average germination rate of *Triticum aestivum L., Zea mays L.* and *Phaseolus vulgaris L*. seeds, depending on the phase of the phases of the moon. The mean germination rate (MGR) is a measure of the germination rate and the temporal spread of germination. Thus, the number of germinated seeds from the first day and the total number of germinated seeds up to the seventh day were determined, taking into account the number of viable germinated seeds.

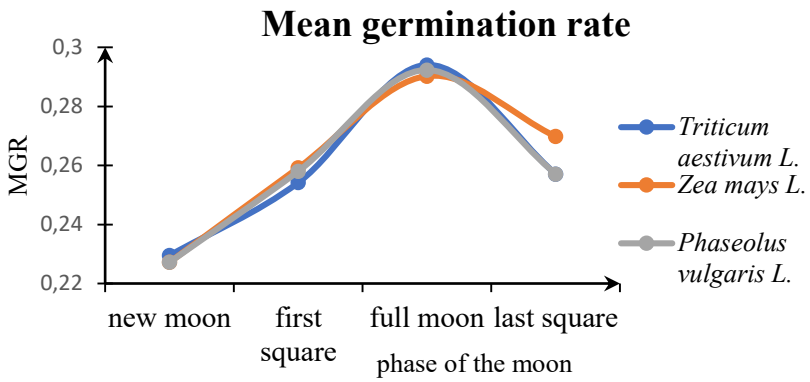


Figure 4. Variation of the mean germination time of the seeds of Triticum aestivum L., Zea mays L. and Phaseolus vulgaris L., depending on the phases of the moon

As can be seen from Fig. 4, the same trend of variation of the MGR parameter was registered for all seed species. Thus, from the new moon phase, a continuous increase is observed until the maximum value is reached in the full moon phase, only to later decrease in the last square.

Figure 5 shows the variation of the germination rate index depending on the phases of the monthly cycle. High percentage rates of germination rate (GRI) indicate higher and faster seed germination.

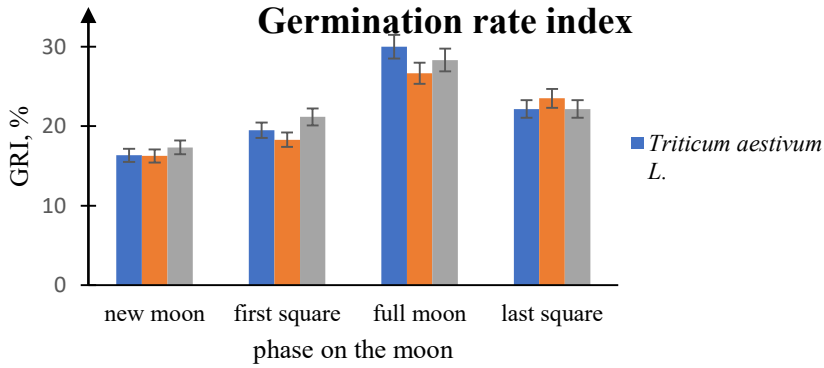


Figure 5. Variation of the germination rate index depending on the phases of the moon

We observe this for the sample of seeds subjected to germination in the full moon stage. Thus, the wheat reached the highest average GRI percentage (30%) of all the analyzed variants. The lowest GRI (16.25% was recorded for corn seeds in the group corresponding to the new moon phase. The germination rate (CV_t) gives us an indication of the speed of seed germination.

The CV_t index increases when the number of germinated seeds increases and the time required for germination decreases. In Fig. 6 the variation of the CVt coefficient is represented in the position of the month. As can be seen from the Fig. 6, the highest CVt values were recorded for the seed samples of *Zea mays* L. placed in germination during the full month period. For other seed species the coefficient of CVt shall not differ greatly from the month phase, an ascent being observed for the last square samples.

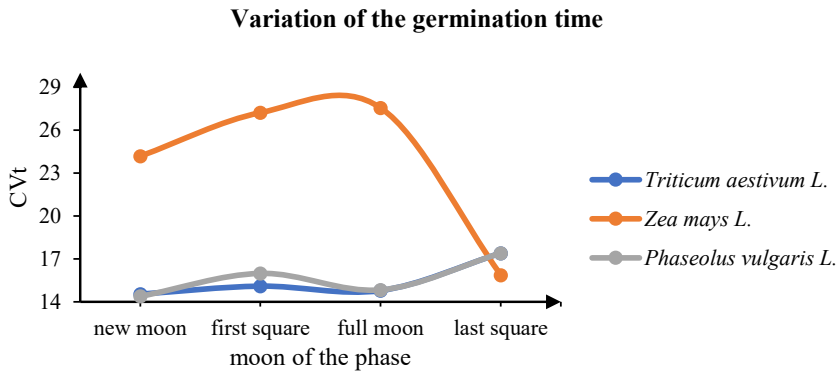


Figure 6. The germination rate coefficient of the seeds of Triticum aestivum L., Zea mays L. and Phaseolus vulgaris L., depending on the phases of the moon

In Table 1, several germination indices are presented, including the germination timing index and the germination process uncertainty.

Table 1.

Moon phase	G, %	*tt*, day	CV_t, %	MGR, (day^{-1})	U	Z
***Triticum aestivum* L.**						
new moon	68,75	4,357143	14,53529789	0,229508	1,094914	0,042553
first square	75	3,933333	15,09195355	0,254237	0,77756	0,041667
full moon	98,75	3,4	14,78307912	0,294118	0,528771	0,021505
last square	93,75	3,888889	17,39313107	0,257143	0,901936	0,035088
***Zea mays* L.**						
new moon	63,75	4,307692	24,17469	0,232143	0,890492	0,04878
first square	72,5	3,857143	27,21655	0,259259	0,618687	0,042553
full moon	91,25	3,444444	27,5502	0,290323	0,519967	0,027778
last square	86,25	3,705882	15,86309	0,269841	0,690754	0,033898
***Phaseolus vulgaris* L.**						
new moon	76,25	4,4	14,37399	0,227273	1,158939	0,04
first square	80	3,875	15,97779	0,258065	0,798795	0,039216
full moon	92,5	3,421053	14,82752	0,292308	0,525443	0,02439
last square	90	3,888889	17,39313	0,257143	0,901936	0,035088

Since seed germination is generally asynchronous, it is possible to quantify this feature by a measurement called timing index, uncertainty associated with the distribution of the relative germination or information entropy frequency. Thus, higher values for this index show high diversity and numbers in the direction of zero – low diversity.

When applied to seed germination, conventional interpretation is in the opposite direction, i.e., lower values indicate more synchronized germination. For U, low values indicate frequencies with a few peaks, i.e., more concentrated germination. As can be seen from Table 1, for all seed species U and L Z values are the lowest for samples characteristic of the full moon phase. It follows that the germination process is particularly intense during this period.

The growth conditions have been maintained within 25 ± 1 °C and humidity 65 ± 3 per cent. For the exact determination of stem height, the horizontal dial gauge ИЗА – 2 has been used. Figure 7 is the growth dynamics of *Triticum aestivum L., Zea mays L.* and *Phaseolus vulgaris L.* plants, depending on the monthly cycle phase, 7 days after planting.

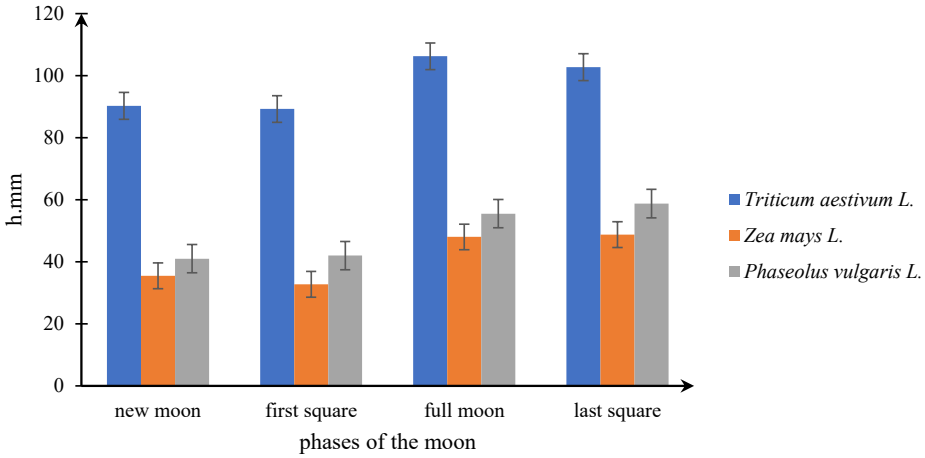


Figure 7. Growth dynamics of Triticum aestivum L., Zea mays L. and Phaseolus vulgaris L., depending on the phases on the moon, 7 days after planting

To determine growth differences among experimental variants for each vegetative organ, biometric measurements were applied. Figure 7 shows that lunar phases influence the growth process to some extent, although overall plant height did not vary greatly. The best growth results were recorded in batches sown during the full moon and last quarter phases across all three species. The maximum wheat height of 106.25 mm in the full moon batch was 17% greater than in the new moon batch, 18% greater than in the first quarter batch, and 4.2% greater than in the last quarter batch. The maximum differences observed between batches were 7.6% for maize and 9.86% for beans.

This phenomenon may be explained by the fact that during the full moon phase, moonlight intensity reaches its peak, potentially favoring plant growth and leaf development. During the new moon phase, changes in lunisolar gravitational forces may alter water uptake, contributing to seed swelling and irregular germination. The interaction of gravitational effects and light conditions may therefore support more balanced root and shoot growth.

CONCLUSION

This study, which evaluated the effect of lunar cycles on *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L., and *Phaseolus vulgaris* L., demonstrated a measurable influence on plant development, assessed through parameters such as water absorption, germination, and stem height. The results indicated that seeds germinated during the full moon phase exhibited higher performance than those germinated during the new moon, particularly in terms of germination rate, germination time, and early seedling development. Specifically, seeds germinated in the full moon phase reached the shortest germination period of 48 hours, compared to 60 hours for seeds in other phases. Maximum germination rates were also achieved only in the full moon batches, whereas seeds in other synodic phases displayed lower germination capacity, with minimum values recorded in the new moon batches: 68.75% for wheat, 63.75% for maize, and 76.25% for beans.

Furthermore, a parallel was observed between seedling growth rates and the synodic cycle. Sowing during the full moon increased growth rates by 15.05% for wheat, 26.12% for beans, and 30.21% for maize compared with seedlings sown during the new moon phase, measured seven days after planting.

Based on both the literature review and our findings, we support the hypothesis that the lunar cycle may influence plant bioactivity. However, given the relatively small sample size, these results should be considered preliminary. Future studies should be conducted on larger batches, over longer experimental periods, and across a wider range of plant species to confirm the robustness and generalizability of these observations.

REFERENCES:

1. BACON, F. Sylva Sylvarum. In: The Works of Francis Bacon, Vol.2. (J. Spedding ed.), p. 636, Longmans; London 1887.
2. BEESON, C. The moon and plant growth. Nature, 1946, 158, 572–3.
3. KOLISKO, E. The Moon and the Growth of Plants. Stroud, Gloucester, U.K. Brown. The rhythmic nature of animals and plants. Cycles, April, f. 1960, p. 81–92.
4. BROWN, F., CHOW, C.S. Lunar-correlated variations in water uptake by bean seeds. Biological Bulletin, 145, 1973, p. 265–278.
5. MAW, M. Periodicities in the influences of air ions on the growth of garden cress. Canadian Journal of Plant Science, 47, 1967, p. 499–505.

6. KOLLERSTROM, N. Plant response to the synodic lunar cycle: A review. Cycles, Bulletin of the Foundation for the Study of Cycles, 31(3), 1980, p. 61–63.
7. STEINER, R. Agriculture. Kimberton, PA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association. 1993.
8. ZÜRCHER, E. Les Plantes et la Lune-traditions et phénomènes. Aux Origines des Plantes—Des plantes anciennes ala botanique du XXIesiecle. Artheme Fayard, Paris, 2008, p. 388-411.
9. ZÜRCHER, Ernst. Plants and the Moon–traditions and phenomena. HerbalEGram, 2011, 8: p. 1-14.
10. KOLLERSTROM, N. Testing the lunar calendar. Biodynamics, Winter, 1993, p. 44-48.
11. KOLLERSTROM, N.; STAUDENMAIER, G. Mond-Trigon-Wirkung: eine statistiche Auswertung. Lebendige Erde, 1998, 11: p. 478-483.
12. KOLLERSTROM, N.; STAUDENMAIER, G. Mond in Tierkreis: andersrechnen-andereErgebnisse. Lebendige Erde, 2001, p. 48-49.
13. KONOPLIV, AS., et.al.1998. Improved gravity field of the Moon from Lunar Prospector. Science 281, 1998, p. 1476-1480.
14. DORDA, Gerhard. Sun, earth, moon—the influence of gravity on the development of organic structures. Part II: the influence of the moon. Sudetendeutsche Akademie der Wissenschaften und Künste, München, 2004, 25: p. 29-44.
15. AL-ANSARI, Fatima; KSIKSI, Taoufik. A quantitative assessment of germination parameters: the case of Crotalaria persica and Tephrosia apollinea. The Open Ecology Journal, 2016, 9.1: 13-21.
16. RANAL, Marli A., et al. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. Brazilian Journal of Botany, 2009, 32: p. 849-855.
17. MOSNEAGA, A., NEDEFF, V., SANDU, I., LOZOVANU, P., MOSNEGUTU, E., LEHADUS, M.P., SANDU, I.G., Utilization of Ozone and Composite Materials in the Seed Treatment to Stimulate the Germination and Growth of Agricultural Crops, Rev. Chim., 71(2), 2020, 365-370.

N.B. *This work was carried out within the framework of the subprogram ,,Advanced physical methods and UAV-based technologies for complex monitoring, assessment, and modeling", code 011210**,** funded by the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova**.***

ASPECTELE RECUPERĂRII CONCENTRATELOR PROTEICE MINERALE LA ELECTROACTIVAREA ZERULUI

THE ASPECTS OF RECOVERY OF PROTEIN MINERAL CONCENTRATES AT THE ELECTROACTIVATION OF WHEY

CZU: 637.344.8 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.116**

Irina PALADII
ORCID: 0000-0002-5683-5248
E-mail: irina.paladii@ifa.usm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Elvira VRABIE
ORCID: 0000-0001-8607-8981
E-mail: vrabie657@yahoo.com
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Valeria VRABIE
ORCID: 0000-0002-2651-7150
E-mail: valvrabie@yahoo.com
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Tatiana STEPURINA
ORCID: 0009-0002-4589-8443
E-mail: stept50@yahoo.com
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Albert POLICARPOV
ORCID: 0009-0008-4762-1775
E-mail: albert.policarpov@ifa.utm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Cătălina SPRINCEAN
ORCID: 0009-0001-1540-007X
E-mail: catalina.sprincean@ifa.usm.md
Institutul de Fizică Aplicată, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *Some important aspects of whey electroactivation in semi-cylindrical cased electrolyzers with different capacities (V/S ml/cm^2 ratio) were established, which allowed to obtain two protein-mineral concentrates PMC_1 and PMC_2. The recovery of PMC_2 occurs towards the end of*

processing and has an increased content of low molecular weight whey proteins β-Lactoglobulin (β-Lg) and α-Lactalbumin (α-La). The intense recovery of PMC_2 at the whey electroactivation in the EDC-pilot electrolyser is achieved at a lower specific energy consumption per unit volume compared to EDC-3, but it allows intense enrichment with α-La (about 88%), which gives the obtained concentrates a high biological value and favors their use in different infant formulas.

Key-words: e*lectroactivation, electrolyzers , protein-mineral concentrates, whey proteins.*

INTRODUCERE

Într-o eră în care noi cei ce „am împrumutat Pământul de la urmași" suntem obligați să restituim o planetă curată, fără reziduuri. Este o datorie a fiecărui să participe cu micile „pietre de temelie" în soluționarea problemelor ecologice și valorificarea pe un contur închis, non-rezidual a deșeurilor, care, deseori, pot fi calificate ca produse secundare, precum este zerul, ce impune societății atât valorificarea conținutului solid al lui, cât și reducerea considerabilă a efectului nociv asupra mediului ambiant, în cazul deversării zerului în apele reziduale [1-3].

În contextul revoluției energetice actuale, se prevede utilizarea surselor energetice „curate", precum energia solară, eoliană, mareelor, termică oceanică, biomasă sau geotermală, ce oferă alternative tehnologiilor tradiționale [4].

Necesitatea procesării reziduurilor de proveniență biologică, inclusiv a zerului, considerat produs rezidual, iar după multiple dezbateri clasificat ca produs lactat secundar, obținut la procesarea primară a laptelui, constă atât în valoarea biologică înaltă a conținutului solid, inclusiv a celui proteic, cât și, din aspect al diminuării poluării mediului ambiant [5, 6].

Conținutul solid al zerului prezintă 50% din conținutul solid al laptelui, ce include circa 70,1% de lactoză –glucidul principal al laptelui, o sursă bogată de proteine serice (β-Lactoglobuline, α-Lactalbumine, cazeine, proteine cu masă moleculară mare (albumina serică bovină - BSA, lactoferina) etc.) - circa 14%, minerale – circa 7,7%, lipide – circa 5,7 %, alte ingrediente -0,9%, ce numără în total peste 200 de componente [7-9].

Valorificarea zerului prin metode tradiţionale este dificilă din cauza conţinutului scăzut de substanţe solide, ceea ce necesită cheltuieli energetice considerabile. Metodele cunoscute de procesare a zerului (termice (termocoagularea); chimice (complexare, precipitare cu reagenţi); fizico-chimice (osmoza inversă; diafiltrare; microfiltrare; ultrafiltrare; nanofiltrare; dializă; schimb de ioni); biotehnologice (biosinteza; procesare microbiană, enzimatică); electrofizice (electroliza, electrodializa) permit fracționarea consecutivă a componentelor din zer (proteine, minerale, lactoză) [10, 11].

Utilizarea metodelor electrochimice, în special, electroactivarea, permite soluționarea unui șir de probleme ecologice, benefice în procesele industriale alternative, protecția mediului și monitorizarea poluării. Electrotehnologiile pretind a fi unele din cele mai inofensive la procesarea produselor secundare [12, 13].

Elaborarea unor tehnici și tehnologii de procesare non-reziduală a mediilor disperse, în special, a zerului la electroactivare, permite fracționarea proteinelor serice și

obținerea concentratelor proteice minerale îmbogățite predeterminat cu anumite fracții proteice, care ulterior pot fi utilizate la fortificarea diferitor produse alimentare prin mărirea valorii adăugate.

Scopul lucrării constă în stabilirea aspectelor electroactivării zerului în electrolizoarele cu carcasă semicilindrică cu diferiți parametri tehnici și cerințe tehnologice în contextul fracționării proteinelor serice.

METODE ȘI MATERIALE

Electrolizoarele EDC-3 și EDC-pilot (Fig. 1), conţin carcasă dielectrică semicilindrică cu celulele anodului şi catodului, membrană, amplasată pe carcasă semicilindrică; electrozii: catodul, plasat pe carcasa semicilindrică şi anodul plasat pe arborele tubular, au aceleași distanțe între electrozi şi electrozi şi membrană, iar raportul volumului de zer procesat la suprafaţa electrodului V/S, ml/cm^2, sunt:pentru EDC-3 - 2 ml/cm^2 și pentru EDC-pilot – 0.75 ml/cm^2. Electrolizoarele cu carcasă semicilindrică sunt una din variantele optimizate tehnic al ”Electrolizorului cu diafragmă” Brevet de invenție 3496, 2008 [14].

Au fost electroactivate diferite tipuri de zer cu conținut diferit de proteină (furnizate de Societatea pe acțiuni „JLC”, Chișinău, RM): **zer cu conținut înalt de proteină (ZCÎP)**– zer obținut după fabricarea brânzei granulate „Grăuncior”; **zer cu conținut scăzut de proteină (ZCSP) -** zer obținut după fabricarea produsului de brânză, cu conținutul de grăsimi 18%. Electroactivarea s-a efectuat în regim periodic la densitatea curentului electric j=10 și 20 mA/cm^2.

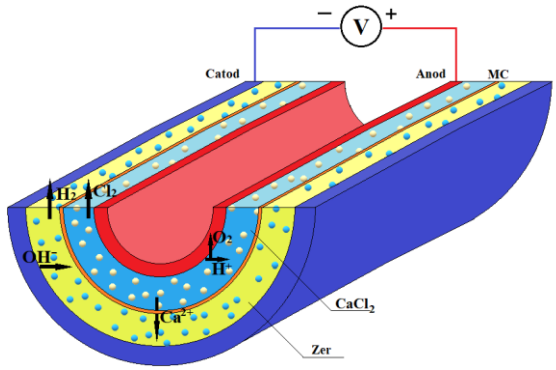


Figura 1. Schema electrolizoarelor cu carcasă semicilindrică EDC-3 și EDC-pilot [15]

Conţinutul fracțiilor proteice (*Q_p*, %) extrase din zer în CPM au fost analizate prin metoda electroforetică în gel de poliacrilamidă cu dodecil sulfat de sodiu, concentrația gelului de acrilamidă - 15%, (SDS-PAGE 15%) [16].

Extragerea maximă a proteinei solubile din CPM s-a efectuat cu soluția tampon - 0.05 M Tris-HCI 0,5 M NaCI, 0,5 mM EDTA, **pH 8.0**, în continuare - ***soluția tampon pH 8.0.***

Conținutul total de proteine solubile (*Q_s*, %) extrase în CPM cu soluțiile tampon a fost determinat prin două metode: metoda micro-biuret și metoda Warburg. Metoda

micro-biuret se bazează pe interacţiunea legăturilor peptidice cu ionii Cu^{2+} într-un mediu alcalin, ce duce la formarea unui complex colorat [17].

Proteinele solubile transferate în soluția tampon pH 8.0 au fost analizate prin SDS-PAGE-15% de, cu sistemul de electroforeză omniPAGE Mini Vertical. Rezultatele obținute au fost scanate prin intermediul Bio-5000 plus, Microtek, imaginile gelurilor scanate au fost retușate în aplicația *Photo Pos Pro*, apoi analizate cu *GelAnalyser 19.1* pentru determinarea procentuală a fracțiilor proteice în CPM.

Analiza electroforetică a concentratelor proteice minerale (CPM) obținute la electroactivarea zerului, în electrolizoarele cercetate, regimi periodic, j=10 şi 20 mA/cm^2, a permis identificarea mai multor fracţii proteice, ce au fost separate în patru grupe: proteine cu masă moleculară mare (HWP), în care au fost identificate 2-5 fracţii cu variaţii ale masei moleculare (MM) 54-249 kDa, ce includ albumina serică bovină (BSA) cu MM 66 kDa, lactoperoxidaza (LP) cu MM 78 kDa şi lactoferină (LF) cu MM 80 kDa precum şi complexe proteice cu MM mare de circa 200-249 kDa; caseinele (CSN), în care au fost identificate 2-3 fracţii–α-CSN, β CSN şi κ-CSN cu MM respectivă de 37, 33 şi 46 kDa; β-lactoglobulina (β-Lg), cu MM 18.2; α-lactalbumina (α-La) cu MM 14.1 kDa .

REZULTATE ŞI DISCUŢII

Fracționarea proteinelor serice indusă la electroactivarea zerului a permis recuperarea a două concentrate proteice minerale numite convențional - CPM_1 și CPM_2, ce diferă prin conținutul fracțiilor proteice.

CPM_2 se formează la suprafața supernatantului (zerului deproteinizat ZD), la separarea în câmpul forțelor masice (centrifugare G=1500), iar CPM_1 se sedimentează. CPM_2 se extrage spre finele electroactivării (15-20 min de tratare și în proba extrasă din conținutul celulei catodului (CC) la j=20mA/cm^2), ca rezultat al ”capturării” proteinelor serice la agregarea cu lipidele din zer, posibil, atât a lipoproteinelor, cât și a proteinelor cu masă moleculară mică (β-Lg, α-La), dar și a peptidelor care se formează în urma hidrolizei proteinelor serice la acest regim de procesare (Fig. 2).

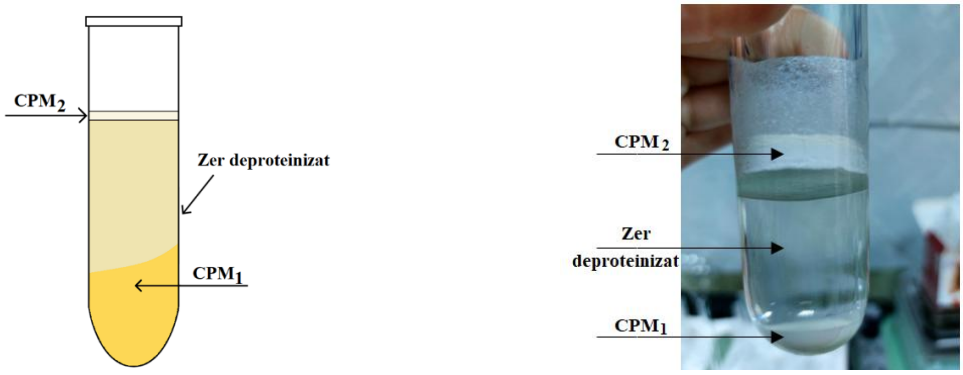


Figura 2. Formarea a două concentrate proteice minerale, numite convențional - CPM_1 și CPM_2, ce diferă prin conținutul proteic, unde CPM_2 se extrage spre finele electroactivării

Electroactivarea în electrolizorul cu diafragmă EDC-3 a ZCÎP, regim periodic, j=20mA/cm^2, a condiționat obținerea a două concentrate proteice minerale CPM_1 și CPM_2.

Variația recuperării fracțiilor proteice (Q_p, %) majore solubile extrase cu soluția tampon pH 8.0, din CPM obținute la electroactivarea ZCÎP, în EDC-3, regim periodic, j=20mA/cm^2, înregistrează o recuperare procentuală (Q_p, %) intensă a β-Lg din primele minute de procesare (circa 73%), iar extragerea α-La se intensifică spre finele electroactivării (circa 56% la 20 min procesare). Extragerea HWP și CSN este minoră cu caracter descendent spre finele procesării. CPM_2 este menționat cu indicele ***(sp)*** (Fig. 3, 4).

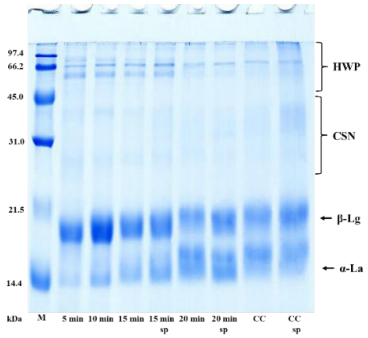


Figura 3. SDS-PAGE 15% a proteinelor solubile extrase soluția tampon, pH 8.0, din CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP, în EDC-3, regim periodic, j=20mA/cm^2 (M – marcher, 5-20 min – durata de procesare, 15 min sp, 20 min sp, CC sp, obținute din CPM_2 CC – conținutul celulei catodului)

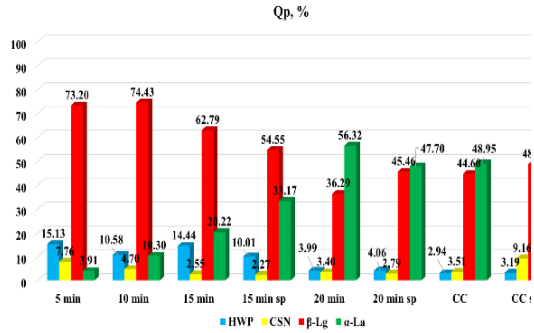


Figura 4. Variația procentuală Q_p,% a recuperării fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, regim periodic, j=20mA/cm^2 (5-20 min – durata de procesare, 15 min sp, 20 min sp, CC sp, obținute din CPM_2 CC – conținutul celulei catodului)

Variația cantitativă (Q_p, *mg/CPM*) a recuperării fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, regim periodic, j=20mA/cm^2, menține caracterul extragerii fracțiilor cercetate, și accentuează fracționarea CPM_1 și CPM_2 după 10 min procesare (Fig. 5).

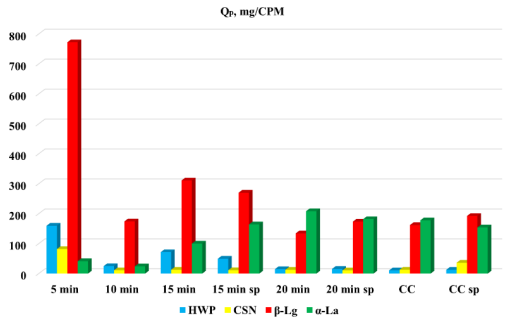


Figura 5. Variația cantitativă Q_p, mg/CPM a recuperării fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCÎP în EDC-3, regim periodic, j=20mA/cm^2 (5-20 min – durata de procesare, 15 min sp, 20 min sp, CCsp, obținute din CPM_2 CC – conținutul celulei catodului)

Electroactivarea **ZCSP**, în EDC-pilot cu parametri tehnici optimizați (V/S = 0.75 ml/cm^2), comparativ cu EDC-3 la regim periodic, **j=10mA/cm^2** și colectarea concentratelor la fiecare 5 minute, cu cercetarea electroforetică cu SDS-PAGE 15%, a conținutului fracțiilor proteice (Q_p,%) extrase cu soluția tampon pH 8.0 din CPM, a permis extragerea neuniformă a β-Lg se pe toată durata procesării și are un conținut considerabil mai redus comparativ cu α-La, ce denotă o extragere maximă de α-La (CPM_1- 88.88%) spre finele procesării (25 min), însă în CPM_2 atât procentual (56.24%), cât și cantitativ conținutul ei este mai redus comparativ cu CPM_1. Menționăm, că α-La este fracția majoră în laptele matern (circa 20-25% conținut în laptele matern) [18], iar recuperarea lor în CPM le atribuie valoare adăugată și va permite utilizarea lor în diferite formule pentru sugari.

HWP se extrag mai intens spre finele procesării, iar CSN se recuperează în CPM în cantități minore. Extragerea neuniformă a β-Lg, mărirea conținutului a HWP și extragerea redusă de CSN în CPM, se argumentează prin participarea lor intensă la formarea compușilor proteici înalt moleculari prin interacțiunea –SH/S-S și nu a fost posibil de detectat cu SDS-PAGE 15% (Fig. 6-8).

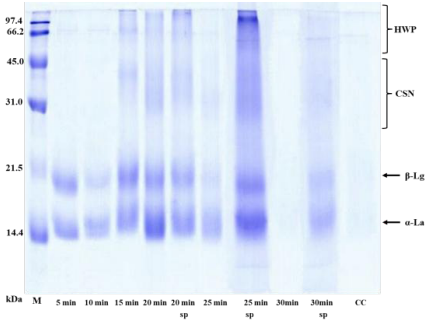


Figura 6. SDS-PAGE 15% a proteinelor solubile extrase soluția tampon, pH 8.0, din CPM, obținute la electroactivarea ZCSP, în EDC-pilot, regim periodic, j=10mA/cm^2 (M – marcher, 5-30 min – durata de procesare, 20 min sp, 25 min sp, 30 min sp obținute din CPM_2, CC – conținutul celulei catodului)

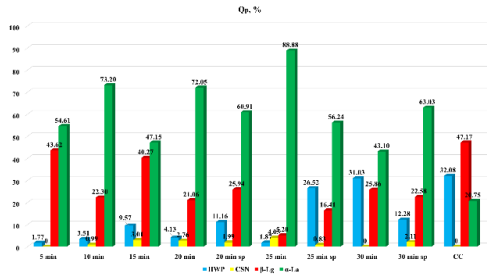


Figura 7. Variația procentuală Q_p,% a recuperării fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCSP în EDC-pilot, regim periodic, j=10mA/cm^2 (5-30 min – durata de procesare, 20 min sp, 25 min sp, 30 min sp obținute din CPM_2, CC – conținutul celulei catodului)

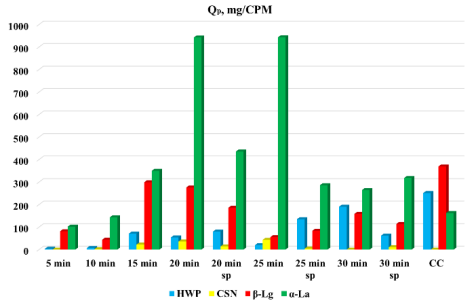


Figura 8. Variația cantitativă Q_p,mg/CPM a recuperării fracțiilor proteice în CPM, obținute la electroactivarea ZCSP în EDC-pilot, regim periodic, j=10mA/cm^2 (5-30 min – durata de procesare, 20 min sp, 25 min sp, 30 min sp obținute din CPM_2, CC – conținutul celulei catodului)

Gestionând atât parametrii tehnici și geometrici a electrolizoarelor utilizate, cât și concentrația molară a ionilor de calciu în celula anodului, electroactivarea diferitor tipuri de zer, permite electrofracționarea proteinelor serice și recuperarea diferită atât în CPM_1, cât și în în CPM_2, îmbogățindu-le cu anumite fracții proteice la diferite regimuri de procesare j=10 și 20mA/cm^2, obținând concentrate cu conținut proteic predeterminat, ce are loc simultan cu izomerizarea a lactozei în lactuloză [19].

CONCLUZII

Electroactivarea diferitor tipuri de zer în electrolizoarele cu carcasă semicilindrică, dar cu capacitate diferită de procesare (raportul V/S ml/cm^2) a permis obținerea a două concentrate proteice minerale CPM_1 și CPM_2.

CPM_2 se obține spre finele procesării și are un conținut sporit de proteine serice cu masă moleculară mică β-Lg și α-La.

Electrolizorul EDC-pilot, ce are parametri tehnici optimizați comparativ cu EDC-3, permite extragerea mai intensă a CPM_2 la un consum specific de energie pe o unitate de volum mai mic.

Procesarea zerului cu conținut scăzut de proteină în EDC-pilot, permite îmbogățirea concentratelor proteice cu α-La (circa 88%) - proteina majoră în laptele matern (α-La circa 20-25%), ce atribuie concentratelor obținute, valoare biologică înaltă și favorizează utilizarea lor în diferite formule pentru sugari.

REFERINȚE:

1. BUCHANAN, D., MARTINDALE, W., ROMEIH, E., HEBISHY, E. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. In *International Journal of Dairy Technology,* 2023, 76 (2), pp. 291-312. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935 .
2. ZANDONA, E., BLAŽIĆ, M., JAMBRAK, A.R. Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. In *Food Technology and Biotechnology*, 2021 59 (2), pp. 147-161. https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968 .
3. M. EL-AIDIE, S. A., A. KHALIFA, G. S. Innovative applications of whey protein for sustainable dairy industry: Environmental and technological perspectives—A comprehensive review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2024, 23 (2), e13319. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13319.
4. WANG, F., HARINDINTWALI, J.D., YUAN, Z., WANG, M., et al., Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality. In *The Innovation,* 2021, 2 (4) 100180. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100180 .
5. PALADII, I. Whey wasteless processing: electroactivation of whey with medium protein content. In: *Intelligent Valorisation of Agro-Food Industrial Wastes*, 7-8 octombrie 2021, Chișinău. Chișinău: Tipografie „MS Logo" SRL, 2021, p. 36. ISBN 978-9975-3464-2-9.

6. ZOTTA T., SOLIERI L., IACUMIN L., PICOZZI C., GULLO M. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. In *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2020, 104, no. 7, pp. 2749–2764. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10408-2.
7. PALADII, I., VRABIE, E., SPRINCEAN, C., BOLOGA, M. Part 1: Classification, Composition, Properties, Derivatives, and Application. In: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2021, 5(57), pp. 579-594. ISSN 1068-3755. DOI: https://doi.org/10.3103/S1068375521050112.
8. PALADII, I. Conţinutul proteic al zerului. În: Conferinţa tehnico-ştiinţifică a studenţilor, masteranzilor şi doctoranzilor, 23-25 martie 2021, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM", 2021, Vol.1, pp. 432-435. ISBN 978-9975-45-700-2 (Vol. I).
9. TSERMOULA, P., KHAKIMOV, B., NIELSEN, J. H., ENGELSEN, S. B. Whey - The waste-stream that became more valuable than the food product. In *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 118, pp. 230-241. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.025.
10. PALADII, I. V., VRABIE, E. G., SPRINCHAN, K. G., BOLOGA, M. K. Whey: Review. Part 2. Treatment Processes and Methods. In: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2021, *57*, pp. 651-666. https://doi.org/10.3103/S1068375521060119 .
11. PALADII, I. Metode de procesare a zerului. În: *Conferinţa tehnico-ştiinţifică a studenţilor, masteranzilor şi doctoranzilor*, 29-31 martie 2022, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM", 2022, Vol.1, pp. 476-479. ISBN 978-9975-45-828-3. ISBN (pdf) 978-9975-45-829-0 (Vol. I) (PDF).
12. BERSIER, P.M., LÉON, C.P., WALSH, F.C. Electrochemical approaches to environmental treatment and recycling. In: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS),* 2011*,* pp. 1-48.
13. GHAZOUANI, M., AKROUT, H., JELLALI, S., BOUSSELMI, L. Comparative study of electrochemical hybrid systems for the treatment of real wastewaters from agri-food activities. In: *The Science of the total environment*, 2019, *647*, pp. 1651–1664. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.023
14. MAXIMUK EVGHENII, BOLOGA MIRCEA, CONDRATENCO SERGHEI, (VRABIE) SPRÎNCEAN ELVIRA. *Electrolizor cu diafragmă.* Brevet de invenție 3496 G2. Institutul de Fizică Aplicată. Nr. depozit a 2006 0171. Data depozit 29.06.2008. Publicat 29.02.208. In: BOPI 11/2008 F1, BOPI 02/2008.
15. PALADII, I., VRABIE, E., BOLOGA, M., VRABIE, V., STEPURINA, T., POLIKARPOV, A., SPRINCEAN, C. Electroactivation: An advanced method of processing of whey with medium protein content. In: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2023, vol. 59, pp. 824-835. ISSN 1068-3755. DOI: https://doi.org/10.3103/S1068375523060145 .

16. LAEMMLI, U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. In: *Nature*, 1970, 227, pp. 680-185.
17. ITZHAKI, R. F., GILL, D. M. A Micro-Biuret method for estimating proteins. In: *Analytical biochemistry,* 1964, 9, pp. 401–410. https://doi.org/10.1016/0003-2697(64)90200-3 .
18. LÖNNERDAL, B., LIEN, E. L. Nutritional and physiologic significance of alpha-lactalbumin in infants. *Nutrition reviews*, 2003, 61(9), pp. 295–305. https://doi.org/10.1301/nr.2003.sept.295-305
19. PALADII, I., VRABIE, E., BOLOGA, M., VRABIE, V., STEPURINA, T., POLIKARPOV, A., SPRINCEAN, C. Peculiarities of proteins fractionation at electroactivation of whey. In: *Journal of Engineering Science*, 2024, 31 (2), pp. 80-93. ISSN 2587-3474. DOI: https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(2).08

N.B. *Articolul a fost elaborat în cadrul subprogramului de cercetare 011203 „Cercetarea și dezvoltarea avantajelor electroconvecției, electroactivării, fluidizării magnetice la intensificarea transferului de căldură și procesării”.*

TECHNICAL REGULATION THROUGH STANDARDIZATION: THE CASE OF DAIRY AND MEAT INDUSTRIES

REGLEMENTARE TEHNICĂ PRIN STANDARDIZARE: CAZUL INDUSTRIILOR LAPTELUI ȘI CĂRNII

CZU: 006:637 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.117**

Iryna ROMANCHUK
ORCID: 0000-0002-3988-0717
E-mail: dairyipr@gmail.com
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Sergii VERBYTSKYI
ORCID: 0000-0002-4211-3789
E-mail: tk140@hotmail.com
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Nataliia RIABININA
ORCID: 0000-0001-8378-4485
E-mail: library321a@gmail.com
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Nataliia PATSERA
ORCID: 0000-0001-8737-9997
E-mail: info@ipr.net.ua
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Olha KOZACHENKO
ORCID: 0000-0002-2189-9583
E-mail: ipr_standart@ukr.net
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Sumar. *Viața economică modernă necesită o coordonare eficientă a soluțiilor tehnice și tehnologice, iar această coordonare este sarcina reglementării tehnice și standardizării la scară globală și națională. Materialul conține informații analitice privind cadrul de reglementare pentru reglementarea tehnică în lume și în Ucraina. În cadrul standardizării naționale din Ucraina, Comitetul Tehnic de Standardizare TC 140 „Lapte, Carne și Produse din Prelucrarea acestora" este responsabil pentru dezvoltarea și menținerea standardelor în domeniul produselor lactate și din carne, Institutul de Resurse Alimentare al Academiei Naționale de Științe Agrare din Ucraina acționând ca secretariat. Domeniul de expertiză al TC 140 include, de asemenea, echipamente*

tehnologice specializate pentru producția alimentară. Articolul descrie activitățile TC 140 în aceste domenii și prezintă provocările și realizările specialiștilor săi. De asemenea, descrie progresele înregistrate în armonizarea Standardelor Naționale ale Ucrainei DSTU cu standardele europene și internaționale.

Cuvinte-cheie: *reglementare tehnică, standardizare, standarde, armonizare, produse alimentare, lapte, carne.*

INTRODUCTION

In accordance with the Law of Ukraine "On Technical Regulations and Conformity Assessment," technical regulation is the legal regulation of relations in the field of determining and implementing mandatory requirements for product characteristics or related processes and production methods, as well as verifying their compliance through conformity assessment and/or state market surveillance and control of non-food products or other types of state surveillance (control) [1]. Mandatory norms for product quality and safety are mainly established in technical regulations. According to the Law of Ukraine [1], a technical regulation is a normative legal act that defines product characteristics or related production processes and methods, including relevant administrative provisions, compliance with which is mandatory. The objectives of adopting technical regulations are to protect the life and health of humans, animals, and plants; to protect the environment and natural resources; to ensure energy efficiency; to protect property; to ensure national security; and to prevent business practices that mislead consumers (users) [2]. Thus, along with legal norms, there are also technical norms. Among technical norms, there are those that, when enshrined in regulatory acts, acquire legal force; these can be called technical-legal [2, 3].

Standards are also normative documents, but their role and place are somewhat different. In general, standardization covers all spheres of society, systematizes, approves, and controls all norms and rules of fair distribution, implements and accumulates: the latest achievements in science and technology, organically combines fundamental and applied areas of science, promotes the rapid introduction of scientific achievements into practice, and helps to identify the most economical and promising areas of development of scientific and technological progress and the national economy. The purpose of standardization is to ensure that products, processes, and services are fit for their intended purpose, to remove barriers, and to promote the rational use of resources. Standards are voluntary, except in cases where references to them are provided in laws and technical regulations. Mandatory indicators in regulatory documents include: indicators of product safety for life, human health, animals, and plants; indicators that guarantee property safety and environmental protection; occupational safety and hygiene requirements with references to relevant standards and rules; and metrological standards that ensure the reliability and uniformity of measurements [4, 5].

MATERIAL AND METHOD

Different sources of scientific and technical information concerning technical regulation and standardization as well as the above concepts applied to the dairy and meat industries. To achieve the goal of the study, a set of approaches and principles of general theoretical and specialized methods of scientific research were used. For the theoretical part, the methods of systematization and generalization, comparative methods were applied as well.

RESULTS AND DISCUSSION

Standardization is a collective activity aimed at establishing and implementing standards to define the requirements that goods, products, services, procedures, etc. must meet. The main purpose of standardization is to resolve conflicts that may arise in the implementation of recurring situations. It encompasses the development, distribution, and application of norms that may (or may not) be mandatory, and it is a dynamic and continuous process [6-8].

Standardization requires clear rules and formulations that exist and must be mastered by specialists. The Law of Ukraine "On Standardization" states that a standard is a normative document based on consensus, adopted by a recognized body, which establishes rules, instructions, or characteristics for general and repeated use regarding activities or their results, and is aimed at achieving an optimal degree of order in a particular field [4]. Standards regulating general technical conditions and technical conditions for food products are usually voluntary. However, domestic consumers are well acquainted with the hierarchy of regulatory documents for food products and, given the choice, prefer products manufactured in accordance with the National Standards of Ukraine DSTU.

For twenty years now, Ukrainian specialists in technical regulation and standardization have been working intensively to achieve the necessary and sufficient harmonization of National Standards DSTU with European Union EN standards, International Organization for Standardization ISO standards, and other recognized international standards. The complexity of this process lies in the fact that the National Standards DSTU for food products regulate specifications and general specifications for food products, while European and international standards contain norms for determining the safety indicators of food raw materials and finished food products. The international standards CODEX STAN Codex Alimentarius also regulate the quality indicators of food products, but they only contain a description of the finished product without requirements for the technological process of food control standards. However, significant progress has already been made in harmonizing domestic standards with European and international ones – see Table 1.

Table 1. Harmonization of standards on the food industry by the code 67 "Technology of the manufacturing food products" in accordance with NK 004:2020 [9] as of April 2025

Code according to NC 004:2020 [9]	Designation of a group according to NC 004:2020 [9]	Number of standards *		Harmonization rate, %
		in a group	including harmonized**	
67.020	Technological processes in the food industry	47	16	34
67.040	Food products in general	37	31	84
67.050	General methods of controlling and analyzing food products	197	134	68
67.060	Cereals, legumes and products of their processing	239	110	46
67.080	Fruit. Vegetables	386	176	46
67.100	Milk and milk products	246	144	59
67.120	Meat, meat products and other animal products	236	49	
67.140	Tee. Coffee. Cocoa	58	47	21
67.160	Beverages	218	42	19
67.180	Sugar. Sugar products. Starch	107	34	32
67.190	Chocolate	10	7	70
67.200	Food oils and fats. Oilseeds	273	168	
67.220	Spices and seasonings. Food additives	110	53	62
67.230	Prepacked food products and precooked food products	33	9	27
67.240	Sensorial analyzing	47	35	75
67.250	Materials and items in contact with food products	134	131	98
67.260	Installations and equipment for food industry	124	100	81
Total by the classification code 67		2502	1286	51

* *Standards of the nationwide validity (DSTU, GOST, etc.)*
** *National and interstate standards in force in Ukraine, harmonized with European and international ones (DSTU EN, DSTU ISO, GOST ISO, etc.)*

Among the standardization entities that, according to Article 8 of the Law of Ukraine "On Standardization" [4], there are technical committees, which are a form of cooperation between interested legal entities and individuals with the aim of organizing

and carrying out work on international, regional, and national standardization in certain areas of activity and on established objects of standardization. Standardization in the field of dairy and meat production is carried out by Technical Committee for Standardization 140 "Milk, Meat and Products of Their Processing," whose secretariat functions are performed by the Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. This Institute maintains a high professional level of development of national standards, preserving the necessary balance between the technical and economic interests of producers and the need to maintain the traditionally high quality of meat and dairy products produced in accordance with National Standards DSTU [8].

The list of objects of standardization of TC 140 of the technical committee, according to the NK 004:2020 "Ukrainian Classifier of Regulatory Documents" [9] in force, is shown in Fig. 1.

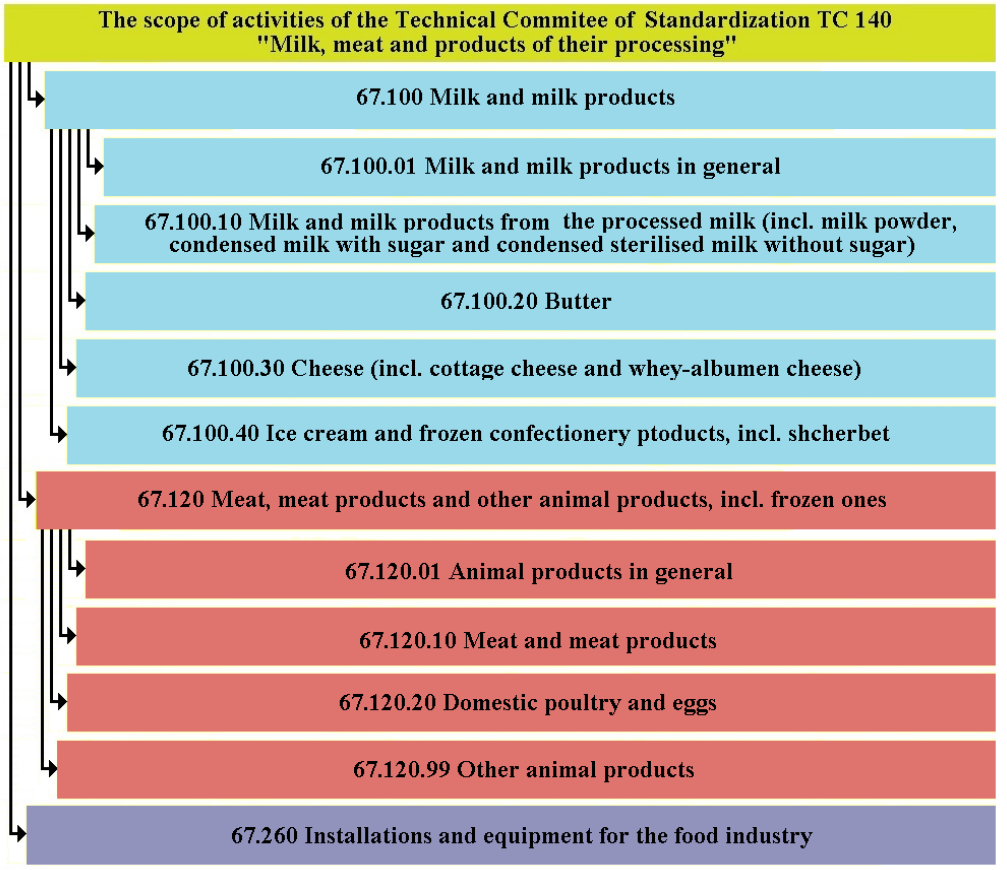


Figure 1. Objects of standardization corresponding to NK 004:2020 [19] [5]

Figure 1 shows that standardization work under code 67.260 "Installations and equipment for the food industry" also falls within the scope of TC 140 "Milk, meat, and

their processed products." Regulatory support for the production and operation of technological equipment for food industry enterprises is relevant, since standards with the specified scope of application require updating and improvement [10]. that the implementation of the above measures will contribute to the development of domestic food engineering based on modern high-tech principles, as it will eliminate the inconsistency between the current state of the system of national standards for specialized equipment for the food industry and the important role that the machine-building industry should play in the mechanization of food production and the achievement of the proper quality, safety, and environmental friendliness of the specified equipment [8]. Naturally, standards for food production equipment must take into account technical and technological innovations such as artificial intelligence, machine learning, blockchain solutions, robotics, the Internet of Things (IoT), digitization, big data, autonomous vehicles, additive manufacturing, nanotechnology, biotechnology, and 3D food printing technology [10, 11]. Accordingly, all of these innovations should be properly reflected in Ukraine's national regulatory documents.

CONCLUSION

Technical regulation and standardization play an important role in regulating economic life on a global and national scale. Ukraine has a system of legislation on technical regulation and standardization that ensures the effective performance of these functions. In particular, within the framework of national standardization in Ukraine, the Technical Committee for Standardization TC 140 "Milk, meat and their products of their processing", whose secretariat functions are performed by the Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. In particular, TC 140 successfully carries out a range of work on harmonizing Ukrainian National Standards DSTU with European and international standards. This work should become a significant technical and legal basis for Ukraine's desired accession to the European Union and the strengthening of Ukraine's position in international markets.

REFERENCES:

1. "On technical regulations and conformity assessment": Law of Ukraine dated January 15, 2015 No. 124-VIII. Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR). 2015. No. 14. Article 96
2. SMERNITSKY, D. Technical regulation: regulatory and normative documents. *Science and Law Enforcement*. 2021. V.2, p. 74-79.
3. CHEREMNOVA, A. Technical Norms in the System of Regulation of Public Relations in the Field of Environmental Protection. *Current Issues of State and Law*. 2008. p. 200–204.
4. Law of Ukraine "On standardization" № 1315-VII date 05.06.2014. Holos Ukrainy. № 124 (5874) [Accessed: 26.06.2025].

5. ROMANCHUK, I., KOPYLOVA, K., VERBYTSKYI, S., KOZACHENKO, O., PATSERA, N. Enhancing national standards for meat and dairy industry. Food resources. 2021. V. 9(16), p. 150–163.
6. PRIETO, M., MOUWEN, J. M., LÓPEZ PUENTE, S., CERDEÑO SÁNCHEZ, A. Concepto de calidad en la industria agroalimentaria. *Interciencia*. 2008. V. 33(4), p. 258-264.
7. CANO, I. C, GONZÁLEZ REY, G. La normalización técnica global como instrumentación principal para asegurar la aplicación de la ciencia y tecnología al progreso de la industria y el comercio. *Ingeniería Mecánica.* 2007. V. 10(2), p. 7-14.
8. SYCHEVSKIY, M. P., ROMANCHUK, I. O., KOPYLOVA, K. V., VERBYTSKYI, S. B., KOZACHENKO, O. B. Key drivers of technical regulation in dairy and meat industry. Standardization. Certification. Quality. 2019. V. 5, p. 49-60.
9. NC 004:2020 National Classifier of Ukraine. Ukrainian Classifier of Normative Documents. (ICS:2020). 2020.05.15. K. : DP "UkrNDNTs". 2020, p. 97.
10. ROMANCHUK, I., VERBYTSKYI, S., KOZACHENKO, O., PATSERA, N., VERBOVA, O. Current state of technical regulation in the field of equipment for the food industry. *Food resources*. 2024. V. 12(22), p.150–163.
11. JIDEANI, A. I., MUTSHINYANI, A. P., MALULEKE, N. P., MAFUKATA, Z. P., SITHOLE, M. V., LIDOVHO, M. U., RAMATSETSE E. K., MATSHISEVHE, M. M. Impact of industrial revolutions on food machinery – an overview. *Journal of Food Research.* 2020. V. 9(5), p. 42-52.

PEDAGOGICAL APPROACHES TO TEACHING JAVASCRIPT FUNCTIONS: A FOCUS ON ARROW, NAMED, ANONYMOUS, AND CALLBACK FUNCTIONS

ABORDĂRI PEDAGOGICE ÎN PREDAREA FUNCȚIILOR JAVASCRIPT: UN FOCUS PE FUNCȚIILE SĂGEATĂ, NUMITE, ANONIME ȘI DE CALLBACK

CZU: 004.43:378.147 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.118**

Vadim SIRKELI
ORCID: 0000-0002-2479-4218
E-mail: vadim.sirkeli@gmail.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Iulia BORIS
ORCID: 0000-0003-4523-2182
E-mail: borisiulia@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Denis NIKA
ORCID: 0000-0002-3082-3118
E-mail: dlnika@yahoo.com
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Funcțiile reprezintă fundamentul codului modular și reutilizabil în JavaScript, însă diversitatea sintaxelor și paradigmelor acestora — inclusiv funcțiile numite, anonime, săgeată și de callback — prezintă adesea provocări pedagogice semnificative pentru cadrele didactice și obstacole de învățare pentru studenți. Această lucrare explorează strategii pedagogice eficiente concepute pentru a demistifica aceste tipuri variate de funcții. Bazându-ne pe principii din teoria sarcinii cognitive, constructivism și sprijin pedagogic (scaffolding), propunem o abordare structurată care pune accent pe analogii, exemple practice și aplicare directă. Prin analizarea caracteristicilor unice și a cazurilor de utilizare ale fiecărui tip de funcție, ne propunem să oferim cadrelor didactice metode aplicabile pentru a îmbunătăți înțelegerea studenților, a reduce concepțiile greșite frecvente și a încuraja o înțelegere mai profundă a capacităților funcționale ale JavaScript.*

Cuvinte-cheie: *evaluare, funcții de callback, educație în informatică, funcții, JavaScript.*

1. INTRODUCTION

In the realm of programming, functions stand as indispensable constructs, serving as the fundamental building blocks that enable the creation of modular, reusable, and abstract code. They encapsulate specific logic, allowing developers to break down complex

problems into manageable units, thereby enhancing code readability, maintainability, and scalability. In JavaScript, this significance is amplified by the language's dynamic, asynchronous, and event-driven nature. Functions in JavaScript are first-class citizens, meaning they can be assigned to variables, passed as arguments, and returned from other functions, underpinning powerful patterns like callbacks, closures, and higher-order functions. This inherent flexibility makes a thorough understanding of functions crucial for any aspiring JavaScript developer.

Despite their foundational importance, teaching JavaScript functions presents a unique set of challenges. The language offers multiple syntaxes for defining functions, from traditional function declarations and expressions to the more modern arrow functions (introduced in ES6). Furthermore, the distinct roles of named functions, anonymous functions, and callback functions can often blur in a student's mind, leading to confusion regarding their appropriate use cases, scope, and particularly, the often-misunderstood this context. Common student difficulties include discerning when to use an anonymous function versus a named one, grappling with the lexical this binding of arrow functions, and comprehending the asynchronous flow inherent in callback patterns. These complexities necessitate targeted and deliberate pedagogical strategies to ensure effective knowledge transfer and skill development.

This paper aims to provide a comprehensive exploration of effective pedagogical approaches for teaching the various types of JavaScript functions: named, anonymous, arrow, and callback functions. Our primary objective is to equip educators with practical strategies and conceptual frameworks to address common student difficulties and foster a robust understanding of these core JavaScript concepts. By dissecting each function type, highlighting its unique characteristics, and proposing specific teaching methodologies grounded in educational theories, we seek to enhance the learning experience and improve student proficiency in JavaScript programming.

2. METHODS

Effective programming education is not merely about presenting syntax; it requires a deep understanding of how students learn and process complex information. This article's pedagogical recommendations are rooted in established educational theories that offer insights into optimizing the learning process for programming concepts.

2.1. Cognitive Load Theory in Programming Education

Cognitive Load Theory (CLT), proposed by Sweller [1], posits that working memory has a limited capacity. When instructional design overloads this capacity, learning can be hindered. In programming, introducing multiple function types with subtle syntactical and behavioral differences can significantly increase extraneous cognitive load — the mental effort imposed by the way information is presented, rather than by the information itself. To mitigate this, pedagogical strategies should aim to reduce unnecessary

complexity, present information clearly, and provide sufficient practice for students to develop automated schemas. For instance, gradually introducing function types, starting with the simplest before moving to more complex ones, can prevent cognitive overload. Visual aids, consistent terminology, and breaking down complex examples into smaller, digestible parts are also critical for managing cognitive load.

2.2. Constructivism and Active Learning

Constructivism emphasizes that learners actively construct their own understanding and knowledge of the world through experiencing things and reflecting on those experiences. In programming education, this translates to the paramount importance of active learning. Students don't truly grasp function concepts by passively listening to lectures; they learn by writing code, debugging errors, experimenting with different syntaxes, and solving problems. This approach necessitates hands-on exercises, coding challenges, and project-based learning where students apply various function types in meaningful contexts. Collaborative learning, such as pair programming, further enhances this by allowing students to discuss, explain, and justify their coding decisions, solidifying their understanding.

2.3. Scaffolding in Programming Instruction

Scaffolding, a concept derived from Vygotsky's Zone of Proximal Development [2], involves providing temporary support to learners as they acquire new skills, gradually withdrawing that support as they become more proficient. In teaching JavaScript functions, scaffolding is crucial. An educator might start by providing highly structured code templates for named functions, then progressively introduce more complex scenarios where students need to independently choose and implement anonymous or arrow functions. This phased approach builds confidence and competence, allowing students to tackle increasingly challenging problems with diminishing external assistance. For instance, initial exercises might involve simple function definitions, followed by problems requiring functions as arguments, and finally, complex asynchronous scenarios.

3. PEDAGOGICAL STRATEGIES FOR TEACHING JAVASCRIPT FUNCTION TYPES

A structured and progressive approach is essential when introducing the diverse landscape of JavaScript functions [3]. This section outlines specific pedagogical strategies for named, anonymous, arrow, and callback functions.

3.1. Named Functions: The Foundation

Named functions are defined using the "function" keyword, followed by a name, a list of parameters, and the function body. They are hoisted, meaning they can be called

before their declaration in the code as shown in Example 1.

Example 1:

```
function greet(name) {
        return `Welcome, ${name}!`;
}
greet("USM"); // Returns "Welcome, USM!"
```

Pedagogical approach: Introduce named functions as the fundamental building blocks. Use the analogy of a "named recipe" or a "defined procedure" that can be repeatedly followed. Emphasize their clarity, reusability, and ease of debugging due to their explicit names which appear in stack traces. Begin with simple, tangible examples like basic arithmetic operations **(add(a, b))**, string manipulations **(reverseString(str))**, or simple DOM interactions **(showElement(id))**. Encourage students to "write a function that..." solves a specific, small problem. This is also the ideal point to introduce core concepts like function scope and parameters.

3.2. Anonymous Functions: Flexibility and Immediacy

Anonymous functions are functions without a name. They are often used as expressions, assigned to variables, or passed as arguments to other functions (Example 2).

Example 2:

```
const add = function(a, b) {
        return a + b;
};
add(2, 7); // Returns 9
```

Present anonymous functions as "one-off" instructions or procedures that don't require a formal name because they are used immediately or passed directly. The immediate context for introducing anonymous functions should be scenarios where a function is used once or passed as an argument. Excellent examples include **setTimeout()** or array methods like **forEach** or **map**:

Example 3:

```
setTimeout(function() {
        console.log("Delayed message!");
}, 1000); // Logs after 1 second
```

Example 4:

```
const numbers = [1, 2, 3, 4, 5];
numbers.forEach(function(num) {
console.log(num * 2);
}); // Logs 2, 4, 6, 8, 10
```

Discuss the trade-offs between named and anonymous functions, focusing on readability versus conciseness. When an anonymous function becomes complex, a named function might be more appropriate for clarity.

3.3. Arrow Functions: Modern Conciseness and Lexical "this"

Introduced in ECMAScript 2015 (ES6), arrow functions provide a more concise syntax for writing function expressions [3]. Their key characteristic is their lexical "this" binding, meaning "this" is bound to the context in which the arrow function is defined, rather than the context in which it is called.

Example 5:

```
const multiply = (a, b) => a * b; // Implicit return for single expression
const
logMessage = () => console.log('Hello, logging'); // No parameters, no
explicit return
const user = {
        name: 'USM',
        greet: function() { // Traditional function: 'this' refers to 'user'
        setTimeout(function() {
console.log(`Welcome, ${this.name}`); // 'this' is global or undefined in
strict mode
        }, 100);
        },
        greetArrow: function() { // Arrow function: 'this' is lexically
        bound to 'user'
        setTimeout(() => {
        console.log(`Welcome, ${this.name}`); // 'this' refers to 'user'
        }, 100);
        }
};
user.greet(); // Might log "Welcome, undefined" or "Welcome, [global
name]"
user.greetArrow(); // Logs "Welcome, USM"
```

3.4. Callback Functions: Asynchronous and Event-Driven Programming Core

A callback function is a function passed as an argument to another function, to be executed later, after some operation has completed. They are fundamental to JavaScript's asynchronous nature and event handling. Callbacks can be any of the function types discussed (named, anonymous, arrow).

Example 6:

```
function fetchData(url, callback) {
console.log(`Fetching data from: ${url}`);
// Simulate an asynchronous operation (e.g., network request)
setTimeout(() => {
const data = `Processed data for ${url}`;
```

```
        callback(data); // Execute the callback with the data
            }, 1500);
        }
        // Using an anonymous function as a callback
        fetchData('api.com/users', function(result) {
            console.log('Received users data:', result);
        });
        // Using an arrow function as a callback
        fetchData('api.com/posts', (result) => {
            console.log('Received posts data:', result);
        });
```

Pedagogical approach: use the analogy of "leaving a message for someone to act on later" or "hiring someone to do a task and report back when finished". Emphasize that the calling function dictates when the callback is executed, not necessarily immediately. Explain their necessity in handling asynchronous operations (e.g., network requests, timers) and event-driven programming (e.g., user clicks, key presses). Visually demonstrate how control is passed to an asynchronous operation, and then, at a later point, the callback "takes control" to process the result. Live coding is crucial here. Start with **setTimeout**, then move to **addEventListener** for DOM events. Build simple interactive elements where user actions trigger callback functions. introduce the concept of "callback hell" (nested callbacks) as a natural consequence of deeply asynchronous operations, providing a motivational context for more advanced topics like **Promises** and **Async/Await**, without diving into them in this article.

4. CONCLUSION

Mastering JavaScript functions is a critical milestone for any aspiring developer. The pedagogical strategies outlined in this article underscore the importance of a structured, scaffolded approach that systematically introduces named, anonymous, arrow, and callback functions. By employing accessible analogies, providing clear and progressive examples, and emphasizing hands-on practice, educators can effectively navigate the complexities inherent in these diverse function types. The focus on managing cognitive load, promoting active learning, and leveraging robust scaffolding ensures that students build a strong foundational understanding. These strategies offer a roadmap for educators to demystify JavaScript functions, thereby improving student comprehension and significantly reducing common misconceptions related to syntax, scope, and the critical "this" keyword. By integrating comparative analysis and encouraging best practices, educators can empower students to not only understand how functions work but also to make informed decisions about their application in real-world scenarios. Diversifying teaching methods to include visual aids, interactive tools, and collaborative learning further enhances the learning experience. While this article proposes effective pedagogical approaches, empirical studies are warranted to rigorously evaluate the impact of specific

interventions on student learning outcomes. Future research could investigate the effectiveness of particular visual programming tools in clarifying complex concepts like `this` binding, analyze the long-term retention of function knowledge across different teaching methodologies, or explore the challenges and best practices in teaching advanced functional programming paradigms in JavaScript, building upon the foundational understanding of the function types discussed herein. Such research would provide valuable data to further refine and optimize JavaScript programming education.

REFERENCES:

1. SWELLER, J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. În: *Cognitive Science*. 1988. vol. 12, no. 2, p. 257-285.
2. VYGOTSKY, L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1978. 159 p. ISBN 978-0674576292.
3. ECMAScript 2015 Language Specification. ECMA International. Available: https://262.ecma-international.org/6.0/ [Accessed: 23.06.2025]

N.B. *The authors acknowledge the financial support from the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova (research program no. 011208).*

RADIATION EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF EFFECTIVE IMPLEMENTATION

EFICIENȚA RADIAȚIEI ÎN CONTEXTUL IMPLEMENTĂRII EFICACE

CZU: 543.424.2 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.119**

Marina TURCAN
ORCID: 0000-0002-4514-8813
E-mail: marina.turcan@ifa.usm.md
Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova

Sumar. *Aplicarea proprietăților luminii coerente în reglarea și controlul proceselor biomoleculare a devenit primordială, în contextul actual al avansării tehnologiilor moleculare și al controlului de precizie înaltă. Lucrarea abordează aspecte fundamentale ale interacțiunilor dintre lumină și materie, care sunt deosebit de relevante în mediile biologice: în primul rând, interacțiunea neliniară a luminii coerente cu medii biologice complexe și, în al doilea rând, interacțiunea cooperativă a fotonilor cu materie, cu accent deosebit pe biomolecule. Studiul pune un accent special pe mecanismele de legături de hidrogen dintre perechile de nucleotide Guanină și Citozină (G-C), analizând comportamentul lor structural și răspunsul dinamic în cadrul proceselor de împrăștiere Raman. Pentru a susține această investigație, este dezvoltat un model teoretic, bazat pe observații experimentale, care încorporează proprietățile locale de simetrie ale structurilor biomoleculare. Modelul oferă perspective asupra mecanismelor de transformare a fotonilor, contribuind la dezvoltarea de noi metode de control optic și monitorizare în medii biomoleculare. Constatările sugerează că lumina coerentă poate fi utilizată eficient pentru a sonda și manipula interacțiuni moleculare specifice, deschizând calea pentru aplicații avansate în biofotonică și diagnosticare moleculară.*

Cuvinte-cheie: *procese Raman; biomolecule; lumină coerentă.*

INTRODUCTION

This research focuses on radiation efficiency UVC from the perspective of a high-performance practical application based the Raman spectroscopy and the application of this effect in physical and biophysical field. Therefore, Raman spectroscopy is a powerful technique which can distinguish between healthy and unhealthy cells and cancerous and non-malignant cells. It has been successfully utilized to determine qualitatively and quantitatively the molecular compositions of solid, liquid, and gases samples. The nonlinear theory of the excitation of vibration modes of bio-molecule of viruses and bacteria is proposed, taking into consideration the bimodal coherent states in coherent Raman excitation of biomolecules.

The authors compare two different ways: the first a von Neumann-type process and second involves adding a dissipative term in the master equation [1, p. 40]. From molecular of biology point of view the highest important goal is the stability of DNA

[2, p. 388]. The authors mentioned about value of the eigenstate energy which is means that the transitions from one to another state takes place due to the light proprieties. They give the tunnelling factor obtained in the order of 10^{5}, which are means that the system readily interconverts between the canonical and tautomeric configuration via quantum effects [3, p. 550]. Recently were analysed the cooperative effects induced by UV excitation of several biologically relevant Tryptophan Mega-Networks for the reason of signalling and control [3, p. 555]. Raman microscopy is a promising quantum technology for visualizing the distribution of molecules in cells. Furthermore, its utility can be expanded to small-molecule imaging by using tiny Raman-active tags such as alkyne. The authors describe the optics, hardware and software to construct the Raman microscope, and discuss the conditions and parameters involved in live-cell imaging [4]. Below shall be analyzed a type of the technic Raman which is more applicable in different domains in **especially** at the control of biomolecular systems in physics and medicine. For this reason, the explanation how interacts photons in Raman process it will be detailed pointed. Because the optical pumping with nanosecond pulses, individual cells in a high-Q microcavity produce bright, directional and narrowband laser emission, with characteristic longitudinal and transverse modes. In paper [5, p. 680], is mentioned about Lasing cells remained alive even after prolonged lasing action. Light amplification and lasing from and within biological systems pave the way to new forms of intracellular sensing and imaging [6, p. 12].

1.1 THE INTERACTION HAMILTONIAN BETWEEN THE ATOMIC AND FIELD OPERATORS

Cooperative conversion of the photons from Stokes in anti-Stokes modes stimulated by a stream of atom flying through the micro-cavity two standing waves were given in common paper [7, p. 1335]. The Hamiltonian of interaction that describes the interaction of the atoms with Stokes and anti-Stokes modes of the cavity electromagnetic field can be represented through the atomic and field operators was done. In order to describe the collective processes, was introduced in Hamiltonian the collective operators for bimodal field, which are described by SU (2) symmetry. This reduction to SU (2) symmetry helps us to solve exactly the super radiant conversion between the Stokes and anti-Stokes photon using the conservation law of Bloch vector Fig. 1B. Where were propose the cooperative photon conversion in the dynamical regime of photon conversion between the two pulses belonging to two modes of nanofiber during the pulse propagation. The procedure of measurements, were changed, replacing the two-mode cavity with electromagnetic pulse in the fibre [7, p. 1338]. Still here on the Bloch sphere was presented the Laser working point, see. Fig. 1B.

During the pulse, propagation in the fibre wave mode the new pulse is generated due to the scattering conversion of the photons in anti-Stokes (or Stokes) mode becomes possible in the process of relaxation (excitation) of the atoms trapped in the evanescent zone of the fibre. In Fig. 1A the red part of the pulse is the Stokes component and the

blue part corresponds to the anti-Stokes one. In the Raman process the energy that occurs because of the interaction of light with vibrational modes associated with chemical bonds within the sample is change. Like it knows the state of light can be measured testing the number of atoms in the ground and excited states like in the Walther micro maser experiment. The procedure of measurements, replacing the two-mode cavity with electromagnetic pulse in the fibre. A nanofiber system is a device where the diameter of the evanescent zone is larger than the fibre diameter.

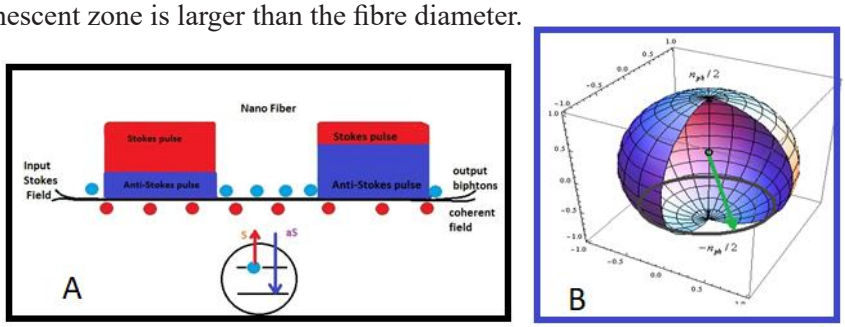


Figure 1. A. Propagation of Stokes pulse through nanofiber and its conversion in anti-Stokes pulse

The explained formalism can be used to study the intermolecular electronic excited-state interaction in much simpler molecular aggregates, such as dimers and trimers, [8, p. 82]. Typically, the significant regions of the Raman spectrum that are observed within biological specimens fall within 400–2,000 cm^{-1} wavenumbers, associated with bond vibrations of proteins (1,500–1,700 cm−1), carbohydrates (470–1,200 cm^{-1}), phosphate groups of DNAS (980, 1,080 and 1,240 cm^{-1}), [9, p. 111610]. The authors specify that the Raman spectroscopy has a high molecular specificity, making it an excellent technique for materials analysis. They mention that, Raman scattering is a rare phenomenon with an exceptionally low probability of occurrence (~1 in 10^8) in comparison with its counterpart Rayleigh scattering, and thus it is typically described as an insensitive technique. For some molecules such as DNA, it makes more sense to perform excitation in the UV region, because the laser frequency and the electronic transition of the molecule under investigation are similar [9, p. 111612].

The Hamiltonian that describes the interaction of the atoms with Stokes and anti-Stokes modes of the cavity electromagnetic field can be represented through the atomic and field operators

$$H_T = \sum_{j=1}^{N} \hbar\omega_0 R_{zj} + \hbar\omega_a a^+ a + \hbar\omega_b b^+ b + i\sum_{j=1}^{N} G(k_a, k_b)\left\{\left\langle R_j^-(t)J^+ - J^- R_j^+(t)\right\rangle\right\} \quad (1)$$

Here R_{zj} is the population inversion of atom j; R_j^+ and R_j^- represent the operators which describe the transitions from $|g\rangle$ - ground to $|e\rangle$ -excited state and from $|e\rangle$ -excited to $|g\rangle$ - ground state respectively (see Fig. 2).

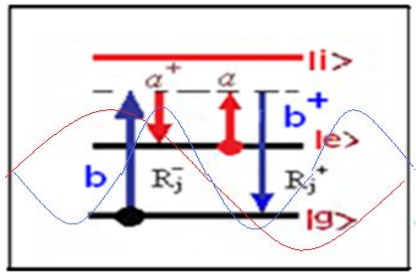


Figure 2. This scheme shows the collective excitation of atom with absorption of Stokes photon and generation of anti-Stokes quantum and vice versa

The operator $a^+(a)$ is the creation (annihilation) of Stokes photons and $b^+(b)$ is the creation (annihilation) of anti-Stokes field operators. The interaction constant $G_j(k_a,k_b)$ describes the effective nonlinear coupling of atom j with cavity modes k_a and k_b. For describing the scattering processes, let's introduced the collective operator for Stokes and anti-Stokes modes, $J^+ = \boldsymbol{b}^+$, and $J^- = \boldsymbol{b}^+$.

1.2 ELIMINATION OF THE ATOMIC OPERATORS

The operator $J^+ = \boldsymbol{b}^+$ describes the simultaneously process of creation of anti-Stokes and annihilation of Stokes photons. The operator $J^- = \boldsymbol{b}^+$ is described inverse process. As in the cavity the fool number of photons in the small-time interaction is conserved, let us introduced the operator of photons inversion between the Stokes and anti-Stokes photons: $J_z = \left(b^+ b - a^+ a\right)/2$. Taking into account, that the life time of atoms in the cavity are short than the time of scattering processes and considering that the atomic system is prepared in excited state, let us eliminate the atomic operators $\hat{J}^+$ and $\hat{J}^-$ from Heisenberg equation of arbitrary field operator $\hat{O}(t)$:

$$\frac{d}{dt}\left\langle \hat{O}(t)\right\rangle = \frac{i}{\hbar}\left\langle [\textstyle\sum_{j=1}^{N}\hbar\omega_0\hat{R}_z^j(t) + \hbar(\omega_b-\omega_a)\hat{J}_z(t), \hat{O}(t)]\right\rangle$$
$$+\frac{i^2}{\hbar}\textstyle\sum_{j=1}^{N}G_j(k_a,k_b)\left\langle [\hat{R}_j^-(t)\hat{J}^+(t) - \hat{J}_j^-(t)\hat{R}_j^+(t), \hat{O}(t)]\right\rangle. \quad (2)$$

The atomic pump of the scattering process with the transformation of n-Stokes photon field. The state of light can be measured testing the number of atoms in the ground state, (see. Fig. 3), like in Walter micro maser experiment [11, p. 55]. The correlation between the Stokes photons and anti-Stokes, [10, p. 665], in process of the cooperative conversion can be named super-radiance. Following super-radiance at conversion, the atoms from the ground state, leaves the cavity, forming one pulse in their time distribu-

tion, (see. Fig. 3). Detection of the cooperative conversion of super-radiance can be observed, if is detect the time distribution of the living atoms in the ground state using ionization method. Similar effect was proposed in the scattering processes between two cavity modes [12, p. 3]. In our case instead of instead of atoms there is photons. If the photons are scattering in other mode of cavity other mode we can consider like another state of cavity in other words it can associate the photons in distributed between two cavity modes as an ensemble of two-level system.

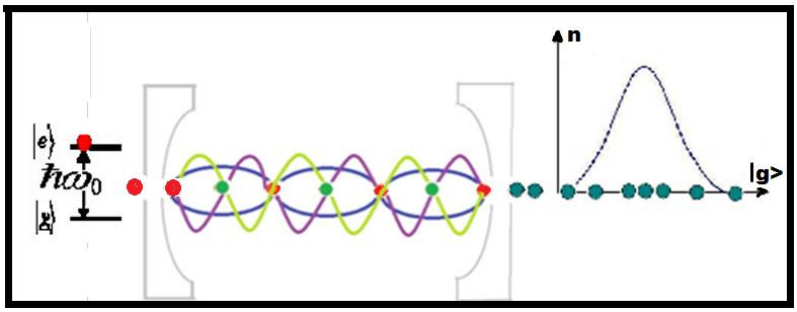


Figure 3. The populations of number of the atoms in the ground state

In equation (2) generalized for the bimodal cavity field operator, using a series of special permutations, the following master equation for the density operator is obtained

$$\begin{aligned}\frac{d\,W(t)}{dt} &= -i\chi\gamma_{\perp}[\hat{J}_{z},W(t)] + \tilde{\alpha}_{1_1}\{2\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-} - W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+} - \hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)\}\\ &-\tilde{\alpha}_{2}\Big\{\frac{1-\chi^{2}}{(1+\chi^{2})^{2}}[\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-} - W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+} + \hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-} - \hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)]\\ &+\frac{1}{1+\chi^{2}}[\hat{J}^{+}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{-} - \hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+} + \hat{J}^{+}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{-} - \hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}]\\ &+i\frac{2\chi}{(1+\chi^{2})^{2}}[\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-} - W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+} - \hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-} + \hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)]\Big\}.\\ &+i\frac{2\chi}{(1+\chi^{2})^{2}}[\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-} - W(t)\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+} - \hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)\hat{J}^{-} + \hat{J}^{-}\hat{J}^{+}\hat{J}^{-}\hat{J}^{+}W(t)]\Big\}. \qquad (3)\end{aligned}$$

The equation (3) describes the collective transformation of Stokes photons into an anti-Stokes field and is similar to the master equation in super-radiance that is traditionally described in literature [13, p. 138], when emission rate is equal to zero, $\tilde{\alpha}_1\tilde{\alpha}_1 = 0$. For estimation the experimental condition from work [11, p. 48], is emission rate $\tilde{\alpha}_1 \approx 10^5 - 10^7\,1/s\tilde{\alpha}_1 \approx 10^5 - 10^7\,1/s$, is much higher than cavity losses $k=c(1-r)/l \approx 10^5 1/s$. Here $r \approx 0.99979$ is the reflection power of the cavity mirrors at a given frequency, $l \approx 10^{-3}\,cm$ is the length of the cavity. Let us first consider that, at the initial moment of time, it is 0 photons in the anti-Stokes mode and $n_{ph} = 2j$

photons in the Stokes, so that the bimodal cavity fields are described by the initial state $|\psi(0)\rangle = |0\rangle_a |n_{ph}\rangle_s$.

***THE STABILIZATION* PROCESS IN THE REZONATOR**

From the Q- and P- diagonal representation of the density matrix, if the right-hand side of the master equation (3), has a biquadratic form with respect to the $\hat{J}^+(t)$ and $\hat{J}^-(t)$, operators, the solution of the master equation can be represented by the diagonal operators bra-Ket of the angular momentum states

$$W(t) = \sum_{m=-j}^{+j} P_m(t) |m, j\rangle\langle m, j|. \tag{4}$$

The set of functions Pm describes the probability of simultaneous existence of (2j+1) Dicke states in the scattering process. The initial condition for the system of equations Pm is P(-j) = 1, P(-j+1) = P(-j+2) =...=P(j)=0 (all photons are prepared in Stokes pulse). The relative value of parameter α_2/α_1=0.005 is choose, according to the definition of the Raman gain $g_s=\alpha_1/c\sim(1/(\delta^2))$ (see as results from the Fig. 4, the transformation of 2j=9 (2j=5) Stokes photons into 9 (see Fig. 4a) anti-Stokes photons, take places in a very interesting way. This distribution can be regarded as the probabilistic repartitions between Stokes and anti-Stokes photons: (0, 9); (1, 8); (2, 7); (3, 6); (4, 5); …; (5, 4); (6, 3); (7, 2); (8, 1); (9, 0), which are described by simultaneous existence of such repartitions with the probabilities: $P_9(t)$, $P_8(t)$, …, $P_0(t)$, …, $P_{-8}(t)$, P_{-9}. In the brackets, the first number (n, m) represents the Stokes photons and the second number - the anti-Stokes photons. The sum of these probabilities is equal to unity: $\sum_{m=-j}^{+j} P_m(x) = 1.$ This steady state solution describes the stabilization process in the resonator.

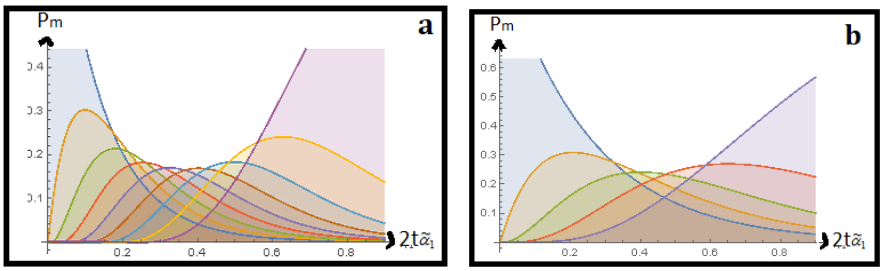


Figure 4. The time dependence of probabilities $P_m(t)$ for the following values of the relative parameters α_2/α_1=0.0075 and the number of photons 2j = 8 and 2j = 4

Regarding optical quantum system investigated by the authors [15, p. 7], value of the order of tunnelling factor give suggestion that the system readily interconverts

between the canonical and tautomeric configurations of Guanine - Cytosine (G-C) or Adenine-Thymine (A-T) base pairs, via quantum effects. From this reason it is can consider to give the same association with the cooperative quantum effect analysed in this paper.

CONCLUSIONS

The properties of coherent light can be effectively applied to the control of processes in biomolecular systems. In this context, a novel mechanism of cooperative photon conversion between Stokes and anti-Stokes pulses is proposed, stimulated by atoms trapped in the evanescent field of optical nanofibers. It is demonstrated that this cooperative conversion induces quantum correlations between photons in the Stokes (pump) and anti-Stokes modes, through nonlinear interactions with excited atoms confined within the evanescent region of the nanofiber. Notably, the emergence of second-order coherence between Stokes and anti-Stokes photons is observed. In this way this research demonstrated graphically the radiation efficiency UVC and the perspective of a high-performance practical application in near future. To describe these quantum properties, a set of collective operators is introduced. This formalism captures the cooperative dynamics between photons originating from the pump and anti-Stokes pulses. The transformations governed by these collective operators can be associated with quantum transitions between the canonical and tautomeric forms of Guanine–Cytosine (G–C) or Adenine-Thymine (A-T) base pairs, suggesting a quantum contribution to molecular switching mechanisms.

REFERENCES:

1. BLOEMBERGEN, N. & SHEN, Y. R. *Quantum-theoretical comparison of nonlinear susceptibilities in parametric media, lasers and Raman lasers*. Phys. Rev. 1963 133: A37-49.
2. BEGLEY, R. F. et al. *Coherent anti-Stokes Raman spectroscopy*, Appl. Phys. Lett. 1974, 25, 387-390.
3. QIANG, Tu. et al. *Diagnostic applications of Raman spectroscopy*, Nanomedicine 8, 2012, 545–558.
4. MANNIGE, R. V. et al. *Periodic Table of Virus Capsids: Implications for Natural Selection and Design. Periodic Table of Virus Capsids: Implications for Natural Selection and Design.* 2010, PLoS ONE 5(3): e9423.
5. ALMAR, F. P. et al. *Raman and SERS microscopy for molecular imaging of live cells, Nature protocols*, 2013, VOL.8 NO.4, p. 677-692.
6. KATHERINE, J. I. et al. *Raman spectroscopy and regenerative medicine: a review*, npj Regenerative Medicine, volume 2, number 12, 2017, pp. 13.
7. TURCAN, M. et al. *Cooperative generation of entanglement states by Raman conversion of photons in nano-Fibers*, Rom. Rep. in Phys., Volume 67, No. 4, 2015, p. 1334–1340.

8. YONZON, C. R. et al. *A glucose biosensor based on surface-enhanced Raman scattering: improved partition layer, temporal stability, reversibility, and resistance to serum protein interference*. Anal. Chem. 76, 2004, p. 78–85.
9. POTCOAVA, M.C. et al. *Raman and coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy studies of changes in lipid content and composition in hormone-treated breast and prostate cancer cells*, Journal of Biomedical Optics 19(11), 2014, p.111605-11.
10. HOLLY, J. B. et al. *Using Raman spectroscopy to characterize biological materials*, Nature protocols Volume 11, No. 4, 2016, p. 664-687.
11. PhD Theses
TURCAN M. *Aspectul cooperativ cuantic între fotoni la emisiile Raman și hyper-Raman/* Autoreferat al tezei de doctor în științe fizico-matematice, Chișinău, 2015.
12. ENAKI, N. *Cooperative properties of multiple quantum scattering: I quantum nutation.* Phys Scripta, 2024, 99(4), 045102, pp. 1-25.
13. ENAKI, N. et al. *Metamaterials for Antimicrobial Biofilm Applications: Photonic Crystals of Microspheres and Optical Fibers for Decontamination of Liquids and Gases*, ch. 13. 27 p., Handbook of Antimicrobial Coatings, 1st Edition, Authors: Atul Tiwari, eBook ISBN: 9780128119839, Elsevier, 2018, pp. 596.
14. MUNTEANU, I. et al. *Ultraviolet C intensity dependence of de-contamination efficiency for pathogens as function of repacked metamaterials with screw channels*. Eur Biophys J. 2024, 53(3), 133—145. (IF: 2,0).
15. SLOCOMBE, L. et al. *An open quantum systems approach to proton tunnelling in DNA*. Communications Physics. Volume 5, No. 109, 2022, pp. 1-9.

N.B. *This paper was supported by the projects: No. ANCD 24.80012.5007.26SE and subprogram 011206.*

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОПРОВОДА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

MICROWIRE PRODUCTION TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION

CZU: 621.318.1. **https://doi.org/10.59295/spd2025e.120**

Сергей БАРАНОВ
ORCID: 0009-0001-1111-4893
E-mail: sabaranov07@mail.ru
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary. *The paper analyzes technological aspects of the Taylor-Ulitovsky method used to produce microwires of various structures.Natural ferromagnetic resonance (NFMR) in cast glass-coated amorphous magnetic micro- and nanowires was theoretically and experimentally studied. The NFMR phenomenon is due to the large residual stresses appearing in the core of the microwire during the casting process. These stresses, along with magnetostriction, determine magnetoelastic anisotropy. Besides residual stresses, the NFMR frequency is influenced by externally applied stresses on the microwire or the composite containing the so-called stress effect (SE).*

The dependence of the NFMR frequency on the deformation of microwires and the external stresses on them is proposed to be used for remote diagnostics in medicine.

Keywords: *Cast glass-coated amorphous magnetic micro- and nanowire, Magnetostriction, Natural ferromagnetic resonance*

ВВЕДЕНИЕ

В качестве цели настоящей работы – мы хотели бы обратить внимание на возможность решения ряда технологических проблем, связанных с производством и применением микро- и нанопроводов.

Одна из рассматриваемых проблем может быть связана с повышением механической прочности окон в промышленных зданиях и жилых домах. Другая проблема связана с электромагнитным экранированием. Обе эти проблемы связаны с защитой от террористических актов, поскольку террористы используют концентрированные электромагнитные импульсы для уничтожения компьютеров или другого электронного оборудования.

Эти задачи могут быть решены путем изготовления оконных стекол, армированных литыми аморфными микро- и нанопроводами в стеклянной оболочке (ЛАМНСО), имеющими специальный состав и структуру, что, с одной стороны, повышает их прочность на разрыв при механическом разрушении, а также придает им, с другой стороны, экранирующие свойства от электромагнитного излучения.

Предложенные идеи связаны с технологией производства литого аморфного микро- и нанопровода в стеклянной оболочке. Технология производства литого

аморфного микро- и нанопровода в стеклянной оболочке (ЛАМНСО), изготовленного методом Тейлора-Улитовского, представлена, например, в [1-4] (см. ниже). Явление естественного ферромагнитного резонанса (ЕФМР) для литых микро- и нанопроводов с магнитной жилой в стеклянной оболочке (ЛАМНСО) изучено многими научными группами (основные результаты представлены в работах [3-7]).

В последнее время ЕФМР привлекает с точки зрения использования для бесконтактной диагностики деформации удаленных объектов [7]. Это возможно благодаря стресс-эффекту (СЭ) в ЕФМР. СЭ приводит к изменению частоты ЕФМР при деформации контролируемого объекта и, соответственно, механически связанной с ним магнитной жилы в ЛАМНСО. Изменение частоты ЕФМР может быть обнаружено при помощи высокочастотного приема отраженного сигнала радаром вблизи частоты ЕФМР по его отклонениям от первоначального значения [7]. Предлагаемое здесь дистанционное тестирование позволит осуществлять контроль указанных деформаций и напряжений.

В работе [7] нами предполагалось, что эти объекты могут быть объектами инфраструктуры, а именно: мосты, плотины, дамбы, башни ветреных генераторов, высотные дома и трубы тепловых электростанций, набережные и т. д. Диагностика применима также и к перемещающимся объектам: это автомобили, самолеты, дроны, ракеты и т.д. Всем им могут грозить разрушения вследствие природных, или техногенных, а также и технологических катаклизмов (включая повторные или долговременные воздействия напряжений и деформаций). В настоящее время на данную тему, а именно, на возможность реализации предлагаемого метода контроля, нами проведены более подробные исследования. Были проанализированы СЭ конкретно к практическому применению (согласно [7]) в медицине. Исследованы изменения частоты естественного ферромагнитного резонанса (ЕФМР), которые определялись радаром по изменению поглощения электромагнитной волны на объекте с ЛАМНСО. Эти эффекты возникали от приложенных внешних механических напряжений. Экспериментально было исследовано поглощение композитных материалов в виде экранов со встроенными отрезками из ЛАМНСО. Выполнены и теоретические исследования, которые показали, что значительная доля поглощения может быть отнесена и к геометрическому резонансу [3, 4, 7-10]. Наибольший эффект ожидается также для нанопроводов, когда радиус жилы соизмерим с толщиной скин-слоя.

В научной литературе существуют параллельные исследования по использованию гигантского магнитного импеданса (ГМИ) для измерений подобных СЭ (см., например, [8]). Однако использование эффекта ГМИ не технологично (этот вопрос уже освещался в [7]) и здесь рассматриваться не будет. Отметим, что влияние СЭ на ГМИ исследовалось и в [9].

Ценность предложенного здесь метода заключена в простоте его осуществления (см. ниже). Микропровод, если его использовать для диагностики напряжений внутри костной системы, должен быть помещен внутри исследуемого объекта. С

помощью СВЧ сканирования и анализа сигнала приемного устройства (радара) можно будет определять напряжения и деформацию костного объекта. Чтобы не облучать весь организм СВЧ излучением, ЛАМНСО можно использовать в поглощающих материалах для экранирования остальной части организма.

ПРОИЗВОДСТВО МИКРОПРОВОДА

Известно, что ЛАМНСО изготовляется модифицированным методом Тейлора-Улитовского (см. [1-4]). Напомним, что для изготовления ЛАМНСО металлический сплав (в форме тонкого прутка) помещается в стеклянную трубку. Благодаря тому, что он разогревается до плавления стекла, а потом и металла в высокочастотном индукторе (см. рис. 1), часть стеклянной трубки, прилегающая к расплавленному металлу, размягчается, обволакивая металлическую каплю. Из капли вытягивают капилляр, заполняемый жидким металлом из сплава. Металл образует жилу микропровода, а стенки капилляра из силикатного стекла – ее стеклянную оболочку (которая часто служит и изоляцией). В зависимости от состава металлической капли (которая расположена в расплавленном состоянии в микрованне из силикатного стекла) и от скорости литья ЛАМНСО, структура жилы микро- и нанопровода может быть моно- или поликристаллической, аморфной и нанокристаллической (причем, возможно совмещение этих структур в жиле).

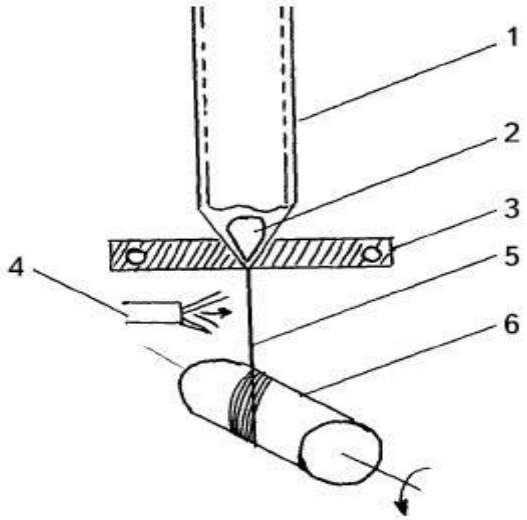


Рисунок 1. Процесс литья микропровода: *1* -стеклянная трубка; *2*- капля металла; *3* –индуктор; *4* –вода; *5* -микропровод со стеклянным покрытием; *6* – вращающаяся катушка для приема

В [3] получена формула для радиуса микропровода R_g (внешний радиус стеклянной оболочки), который оценивается по формуле:

$$R_C \sim A\eta^{2-k} V_d^k \sigma^{1-k}{}_s, \quad (1)$$

где k - параметр, зависящий от скорости разливки ($0 < k < 1$); ρ - средняя плотность микропровода; V_d - скорость разливки; σ_s - поверхностное натяжение; η - динамическая вязкость стекла:

$$\eta \sim \eta_0 exp\{\Delta H/RT + c[\exp(\varepsilon/RT) - 1]\},$$

где ε ~ 2 – 10 кДж/моль, $\Delta H \sim 10^2$ кДж/моль, R - универсальная газовая постоянная, η_0 - начальная вязкость стекла и c ($c \sim 0.4–0.9$) - материальные постоянные, $A \sim 1/\rho$.

Формула (1) предполагает следующее асимптотики:

1. Если значение скорости вытягивания микропровода предельно маленькая, то значение R_c велико, и мы получаем формулу:

$$R_C \sim \eta^{5/3} V_d^{1/3} \sigma^{2/3}{}_s, \quad (1a)$$

где $k = 1/3$.

2. Если скорость разливки достаточно высока, то для R_c получаем:

$$R_C \sim \eta^{4/3} V_d^{2/3} \sigma^{1/3}{}_s, \quad (1b)$$

где $k = 2/3$.

2. В пределе чрезвычайно высокой скорости разливки, при $k \to 1$, получаем:

$$R_C \sim \eta V_d \quad (1c)$$

Эти формулы подтверждены экспериментом.

Приведем простейшее решение задачи расчета остаточных напряжений (на поверхности между силикатным стеклом и металлом) для ЛАМНСО, которое уже рассматривалось, например, в [3]. Формулы для радиальной $-\sigma_{r(0)}$, тангенциальной $-\sigma_{\varphi(0)}$ и осевой $-\sigma_{z(0)}$ компонент напряжений имеют вид [3]:

$$\sigma_{r(0)} = \sigma_{\varphi(0)} = P = \sigma_m \frac{kx}{\left(\frac{k}{3}+1\right)x + \frac{4}{3}},$$

$$\sigma_{z(0)} = P \frac{(k+1)x + 2}{kx + 1},$$

$$x = \left(\frac{Rc}{Rm}\right)^2 - 1,$$

$$\sigma_m = \varepsilon E_1, \quad \varepsilon = (\alpha_1 - \alpha_2)(T^* - T) \approx 5 \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

α_i – коэффициенты термического расширения (КТР) металла ($i=1$) и стекла ($i=2$);

T*–температура застывания композита в области контакта металла и стекла (T*~800–1000 K); T– температура, при которой проводится эксперимент;R_m – радиус металлической жилы микропровода($d_m = 2R_m$); R_c – внешний радиус стеклянной оболочки микропровода *($D_c = 2R_c$)*:

$$k = \frac{E_2}{E_1} \sim (0{,}3 \div 0{,}5) \ ,$$

E_i – модули Юнга (металла ($i=1$) и стекла ($i=2$)).

Для упрощения приведенных формул коэффициенты Пуассона для стекла и металла взяты ~ 1/3. Согласно (1) наибольшим напряжением является продольное напряжение:

$$\sigma_{z(0)} \sim (2 \div 3)P,$$

то есть:

$$\sigma_{z(0)} > \sigma_{r,\varphi(0)} \ ,$$

а максимум величины P определится как:

$$P \rightarrow 0.5\sigma_m \sim 10^9 \text{ Па}.$$

При дополнительной продольной деформации, имеющей место в случае, когда микропровод внедрен в твердую матрицу, которая сама деформируется под действием внешних воздействий, в выражение для остаточного осевого натяжения в металлической жиле добавляется член:

$$\sigma_{ez} = \frac{P_0}{S_m(k\ x\ +1)}, \qquad (2, \text{a})$$

где P_0 - это приложенная сила к композиту и, соответственно, к жиле микропровода; $S_m = \pi R_m^{\ 2}$ - площадь сечения жилы микропровода; k - отношение модуля Юнга оболочки к модулю Юнга микропровода; x –отношение площади оболочки к площади микропровода (см. (1).

Приведем также формулы для напряжений внутри области металла (они представлены в [3]):

$$\sigma_r \approx P_1' \left(1 - \frac{b_1^2}{r^2} \right),$$

$$\sigma_\varphi \approx P_1' \left(1 + \frac{b_1^2}{r^2} \right), \qquad (2, \text{b})$$

$$P_1' \approx \frac{P_1}{1 - \left(b_1 / R_m \right)^2} \approx P_1 \approx P.$$

где

Эти формулы подтверждаются экспериментально

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ МИКРОПРОВОДА

Теория НФМР представлена в работах [3-7]. Для ферромагнитного металлического цилиндра (с малым радиусом R_m), находящегося в ЛАМНСО, глубина скин-слоя определяется:

$$\text{™} \sim [\text{¬}(\text{⌠}\text{⌠}_0)_e\Sigma_2]^{-1/2} \sim \text{™}_0(\text{⌠})_e^{-1/2}, \quad (3)$$

где $(\text{⌠}\text{⌠}_0)_e$ – эффективная высокочастотная магнитная проницаемость, а Σ_2 - электропроводность микропровода, ¬ - частота СВЧ.

В случае ЛАМНСО относительная высокочастотная магнитная проницаемость может достигать величины ~ 10^3в диапазоне частот ~ (9 - 10) ГГц; в этом случае глубина скин-слоя уменьшается до (1 - 2) мкм.

Известно (см. [3-5]), что если $R_m > \delta$, то общее выражение для частоты ферромагнитного резонанса (ФМР или для ЕФМР) ω равно:

$$(\omega/\gamma)^2 = (Hk + 4\pi M_s)\cdot Hk, \quad (3, \text{а})$$

где M_s - намагничивание насыщенности и γ -гиромагнитное отношение [3, 7]. Величина анизотропии оценивается, как $Hk \sim 3\,\lambda\sigma/M_s$, где λ - постоянная магнитострикция, и σ –эффективные механические напряжения в металлической жиле ЛАМНСО.

Для частоты ФМР и ЕФМР можно получить:

$$\omega(GHz) \approx \omega o\left(\frac{0.4x}{0.4x+1} + \frac{\sigma_{ez}}{\sigma_o}\right)^{1/2}, \quad (4)$$

где $\omega_o(GHz) \approx 1,5(10^6\,\lambda)^{1/2}$.

Таким образом, изменение геометрических параметров ЛАМНСО, приложенного внешнего напряжения и, главное, за счет магнитострикции позволяет перекрывать частотный диапазон от 1 до 12 ГГц, что создает предпосылки для применения ЛАМНСО для предложенных выше целей.

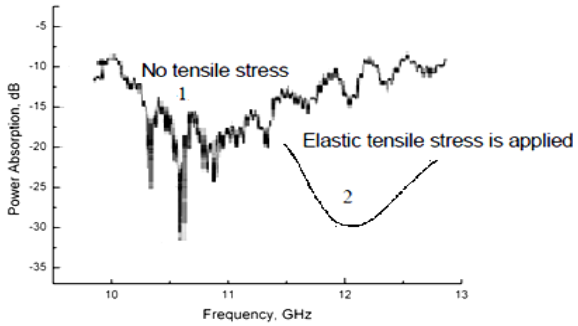


Рисунок 2. а) - средние поглощающие способности экрана, содержащего микропровода с ЕФМР в микроволновых частотах в пределах от (10 - 12) ГГц для микропроводов из$Fe_{68}C_4B_{16}Si_{10}Mn_2$ (R_m ~ 5 мкм, x~ 5); б) – гипотетическая кривая поглощения в случае внешнего давления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье отражены основные результаты теории и эксперимента для производства литых микропроводов со стеклянной оболочкой. Метод непрерывного литья микропроводов со стеклянным покрытием (метод Тейлора–Улитовского) имеет некоторые ограничения, определяемые физическими свойствами металла и стекла. Диапазон рабочих температур литья специфичен для данного состава металлического сплава и определенного типа стекла, т. е. для каждой пары металлический сплав — стекло.

Предложены простые аналитические выражения для остаточных напряжений в металлической сердцевине микропровода, которые наглядно показывают их зависимость от отношения радиуса микропровода к радиусу металлического ядра и от соотношения модулей Юнга стекла и металла (см. формулы (1) и (2)). Теоретическое моделирование в соответствии с теорией термоупругой релаксации показывает, что остаточные напряжения возрастают от оси микропровода до поверхности его металлического сердечника, что соответствует полученным ранее экспериментальным данным. Таким образом, при изготовлении литых микропроводов методом Тейлора–Улитовского остаточные напряжения достигают максимальных значений на поверхности металлического сердечника.

Особенностью этих литых микропроводов является наличие остаточных напряжений, возникающих из-за разницы коэффициентов теплового расширения металлического сплава и стеклянного покрытия. Эта особенность является основным фактором, определяющим физические свойства таких микропроводов, в частности, их магнитные свойства.

Для ЛАМНСО частота ЕФМР зависит от остаточных напряжений и приложенных внешних механических напряжений. Явление ЕФМР, которое открыто нами в ЛАМНСО [3, 7], позволяет создавать новые материалы, работающие в области СВЧ с широким диапазоном частот. Существенное свойство ЕФМР в ЛАМНСО характеризуется тем, что в ЛАМНСО существует стресс-эффект (СЭ). Этот СЭ может быть использован для бесконтактной диагностики деформаций в отдаленных объектах. Эти объекты будут периодически сканироваться радаром (с плавающей частотой), чтобы определять отклонения от начальной частоты NFMR. Таким способом, можно отследить потенциально опасные деформации и напряжения у любых исследуемых объектов.

Рассмотрено применение микропроводов в композитах для улучшения поглощающих характеристик экранирования.

Конфликт интересов. Автор заявляет, что у него нет известных финансовых конфликтов интересов, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Taylor, G.F. A method of drawing metallic filaments and a discussion of their properties and uses. *Physical Review.* 1924;23(5): 655–660.
2. Vazquez, M. Soft magnetic wires. *Physica B: Condensed Matter.* 2001; 299(3-4): 302–313.
3. Baranov, S.A., Larin V.S., Torcunov A. V. Technology, preparation and properties of the cast glass-coated magnetic microwires. *Crystals.* 2017; 7(6): 1 –12.
4. Peng, H.X., Qin F. X., Phan M.H. Ferromagnetic microwires composites: from sensors to microwave applications. Springler: 2016. 245 p. https://10.1007/978-3-319-29276-2
5. Starostenko, S. N., Rozanov, K. N., Osipov, A. V. Microwave properties of composites with glass coated amorphous magnetic microwires. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.*2006; 298 (1): 56–64.
6. Yıldız, F., Rameev B. Z., Tarapov S. I., Tagirov, L. R.,Aktaş B. High-frequency magnetoresonance absorption in amorphous magnetic microwires.*Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2002; 247(2): 222–229.
7. Adar, E., Yosher, A. M., Baranov, S. A. Natural ferromagnetic resonance in cast microwires and its application to the safety control of infrastructures. *International Journal of Physics Research and Applications*. 2020;3(1): 118-122.
8. Nematov, M. G., Adam, A. M., Panina, L.V., … Qin F. X. Magnetic anisotropy and stress-magnetoimpedance (S-MI) in current-annealed Co-rich glass-coated microwires with positive magnetostriction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2019;474: 296–302.
9. Buznikov, N.A., Kim, C. O. Modeling of torsion stress giant magnetoimpedance in amorphous wires with negative magnetostriction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2007;315(2): 89–94.
10 Buznikov, N.A., Svalov, A. V., Kurlyandskaya, G. V., Influence of the parameters of permalloy-based multilayer film structures on the sensitivity of magnetic impedance effect, *Phys. Met. Metallogr.* 2021, 122, 223–229.

Источник финансирования: *Работа выполнена при поддержке Молдавского национального проекта и проекта Приднестровского университета имени Шевченко.*

Рисунки

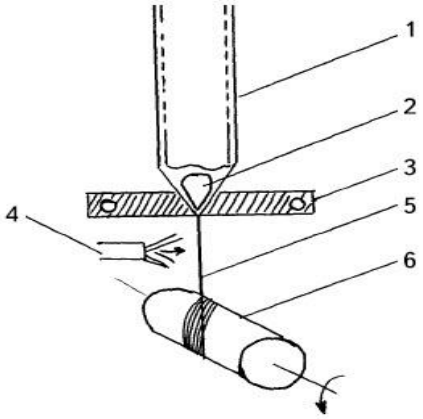


Рис. 1. Процесс литья микропровода: *1* -стеклянная трубка; *2*- капля металла; *3* –индуктор; *4* –вода; *5* -микропровод со стеклянным покрытием; *6* – вращающаяся катушка для приема

Fig. 1. Process of microwires: *1* -glass tube; *2* -drop of metal; *3* –inductor; *4* –water; *5* -glass-coated microwire; *6* - rotating receiving bobbin

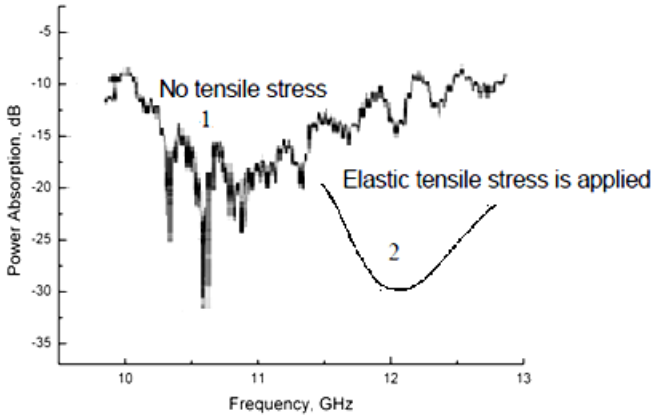


Рис.2. *1* **-** средние поглощающие способности экрана, содержащего микропровода с ЕФМР в микроволновых частотах в пределах от (10 - 12) ГГц для микропроводов из$Fe_{68}C_4B_{16}Si_{10}Mn_2$ (R_m ~ 5 мкм, *x*~ 5); 2 – гипотетическая кривая поглощения в случае внешнего давления

Fig. 2. *1* **–** average absorption characteristics of a shielding containing a microwire composite exhibiting NFMR at microwave frequencies ranging from (10 - 12) GHz for $Fe_{68}C_4B_{16}Si_{10}Mn_2$ microwires (R_m ~ 5 μm, *x* ~ 5); *2* – hypothetical absorption curve in case of an external pressure

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ФОРМЫ ДИСЛОКАЦИОННЫХ РОЗЕТОК, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОДЛОЖКАХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР ПЛЁНОК

EFFECT OF THE SHAPE ASYMMETRY OF DISLOCATION ROSETTES ARISING IN SUBSTRATES OF COMPOSITE STRUCTURES OF THE FILM/ SUBSTRATE TYPE DURING NANO-MICROINDENTATION

CZU: 621.315:539.23 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.121**

Дарья ГРАБКО
ORCID: 0000-0002-4319-367X
E-mail: daria.grabco@ifa.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Константин ПЫРЦАК
ORCID: 0000-0002-7775-237X
E-mail: constantin.pirtac@fiz.utm.md
Технический Университет Молдовы, Кишинэу, Республика Молдова

Ольга ШИКИМАКА
ORCID: 0000-0003-4055-3761
E-mail: olga.shikimaka@ifa.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary*. The paper studies the deformation specifics of composite structures (CS) of the film/substrate type (Cu/LiF and Cu/MgO) during nano-microindentation. A number of regularities accompanying the process of formation of indentations in LiF and MgO substrates depending on the CS film thickness (t_c = 85, 470 and 1000 nm) are established. The effect of the shape asymmetry of Berkovich dislocation rosettes is revealed, the orientation effect of indentation and dislocation structure formation depending on the relative position of the indenter, slip elements and crystallographic directions of the sample is detected. The main factors responsible for the revealed regularities are established.*

Keywords: *rosette asymmetry, Cu/LiF, Cu/MgO, orientation effect.*

ВВЕДЕНИЕ

Метод инструментального (глубинно-чувствительного) индентирования приобрел в последние десятилетия характер универсального способа для оценки механических свойств различных материалов, поскольку позволяет определять большое число функциональных характеристик твердых тел [1]. В значительной степени это связано также с непрерывным развитием современной наноиндустрии и

созданием структур, обладающих качественно новыми свойствами. Важное место при этом принадлежит композитным структурам (КС) типа "тонкая пленка/твердая подложка" в технологиях микро- и наноэлектромеханических систем (MEMS и NEMS) [2, 3].

Широко распространенными планарными структурами в полупроводниковой технике являются структуры типа мягкая пленка/твердая подложка [4-7]. Тонкие пленки представляют собой слой материала толщиной от нескольких микрометров до нескольких нанометров, свойства которого существенно отличаются от свойств объемных материалов. Это дает возможность создавать материалы с новыми свойствами. В связи с этим проводятся научные исследования, имеющие целью глубокое проникновение в природу явлений, сопровождающих процесс индентирования, выяснение физической стороны процессов, а также расширение знаний о свойствах материалов в микрообъемах и нанообъемах.

К настоящему времени выявлены многие закономерности деформации и разрушения ионных и ковалентных кристаллов, построены модели пластического течения материала при микровдавливании [8, 9]. При наномикроиндентировании структур типа пленка/подложка, [10], на дислокационном уровне выявлены три стадии пластической деформации в зависимости от степени проникновения индентора в структуру (β): 1 – при β≈(0.1–0.5) пластическая деформация распределена преимущественно в пленке, а в подложке могут генерироваться только упругие деформации; 2 – β≈(0.5–1.0) деформация происходит в пленке и в зоне взаимного влияния пленка-подложка; 3 – β>1.0 пластическая деформация в значительной степени проникает в объем подложки, охватывая все три области системы (пленка-зона взаимного влияния-подложка).

Примечательный эффект, чувствительность длины краевых лучей дислокационных розеток к форме индентора, трехгранной пирамиды Берковича, был выявлен в работе [11] на модельных кристаллах LiF и MgO. Было показано, что дислокационные розетки, формирующиеся вокруг отпечатков Виккерса, имеют симметричный вид, в то время как розетки вокруг отпечатков Берковича асимметричны. Краевые лучи дислокационных розеток у отпечатков Берковича различаются по своей длине, тогда как винтовые лучи такой асимметрии не демонстрируют.

Полученные результаты позволили предположить, что чувствительность длины краевых лучей дислокационных розеток к форме индентора Берковича имеет довольно общий характер и может проявляться не только на монокристаллических образцах, но также и на других более сложных структурах, как например, на КС типа пленка/подложка. Поэтому представляло интерес исследовать, как проявляется эффект асимметрии на подложках структур с покрытиями, как он зависит от типа подложки и насколько глубоко внутрь кристалла наблюдается выявленный эффект асимметрии. Отмеченные вопросы являются предметом исследования в данной работе на композитных структурах типа слой/подложка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований были выбраны две модельные композитные структуры типа слой/подложка, которые можно охарактеризовать как «мягкое-на-мягком», Cu/LiF, и мягкое-на-твердом, Cu/MgO. Компоненты этих структур имеют много общих свойств: принадлежность к кубической структуре, достаточно развитые пластические свойства, высокую подвижность дислокаций, но близкие значения микротвердости для Cu и LiF (H_{Cu}≈0.8 ГПа, H_{LiF}≈1.1 ГПа) и существенное различие с кристаллами MgO (H_{MgO}≈8.0 ГПа). Это позволит оценить влияние твердости подложки на проявление эффекта асимметрии в изучаемых структурах.

Пленки Cu были нанесены на свежесколотую поверхность монокристаллов LiF и MgO методом магнетронного распыления, используя прибор Magnetron Sputtering RF, в режиме P=200W, T=50^{0}C. Были получены КС с различной толщиной пленок Cu: t_1=85 нм; t_2=470 нм и t_3=1000 нм. Шероховатость поверхности пленок (R) была оценена методом атомно-силовой микроскопии и составляла R=15-20 нм. Фазовый состав и микроструктура полученных КС определялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ1 (Fe K_α излучение, Mn фильтр, $\Theta/2\Theta$ метод). Было показано, что пленки меди в КС имели нанокристаллическую структуру с текстурой кристаллов Cu по (111). Основная часть кристаллитов меди имела ориентацию (111) со средним размером нанокристаллов $D_{[111]}$≈50 нм. Небольшая часть кристаллитов имела ориентацию (100) со средним размером нанокристаллов $D_{[100]}$≈8 нм. Изучение механических свойств проводили методом динамического индентирования на приборе Nanotester-PMT-NI-02, оснащенном индентором Берковича. Микроструктура поверхности изучалась методами оптической микроскопии на приборе XJL-101 и на атомно-силовом микроскопе Nanostation II. Нанесение отпечатков и вычисления проводились по методу Оливера-Фарра [1]. Все вычисления выполнялись автоматизировано с помощью программного обеспечения прибора.

Для выявления дислокационных структур вокруг отпечатков на подложках LiF использовался стандартный селективный травитель: слабо концентрированный водный раствор $FeCl_3$ (~15 мин.), а на подложках MgO травитель следующего состава: 5 частей NH_4Cl +1 часть H_2O +1 часть H_2SO_4. Предварительно с композитных структур, на которых были нанесены отпечатки, химическим путем удаляли слой Cu в конц. HNO_3 (~1 с.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим вначале как выглядят дислокационные розетки от индентора Берковича на грани (001) кристаллов LiF и MgO. В качестве примера приведем две розетки (Рис. 1).

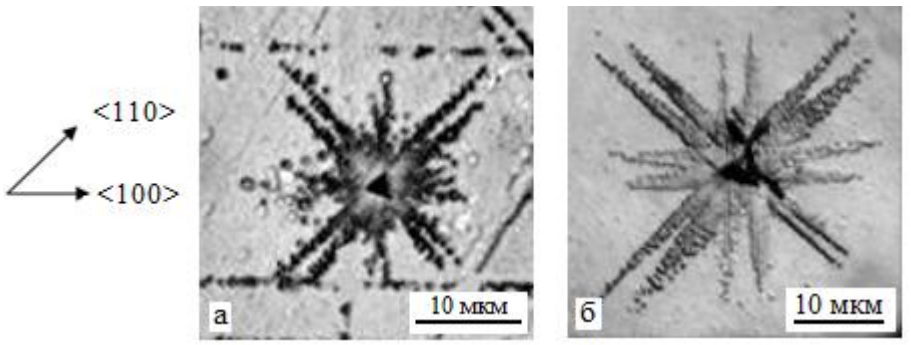


Рисунок 1. Дислокационные розетки на грани (001) монокристаллов LiF (а) и MgO (б) вокруг отпечатков индентора Берковича: а – P= 100 мН; б – P= 500 мН. Винтовые лучи расположены параллельно и перпендикулярно сторонам фотоснимков, а краевые – под 45° к ним

Отчетливо видно, что как на LiF, так и на MgO, винтовые лучи примерно одинаковы по своей длине, тогда как 3 краевых луча примерно равны по длине, а один луч является более коротким. Также можно заметить, что асимметрия ярче проявляется на твердом кристалле MgO , чем на более мягком LiF. Аналогичный эффект просматривается и на подложках LiF и MgO (Рис. 2). Сравнение рисунков показало также, что в общих чертах дислокационные розетки на монокристаллах (Рис. 1) и на подложках (Рис. 2) похожи между собой. Каждая розетка сформирована из восьми дислокационных лучей, 4-х краевых ($l_к$) и 4-х винтовых ($l_в$) луча, в соответствии с элементами скольжения кубических кристаллов: {110}<110>. Из Рис. 2 также следует, что эффект асимметрии ярче выражен для более высоких нагрузок (ср. рисунки: 2а с 2б и 2в с 2г).

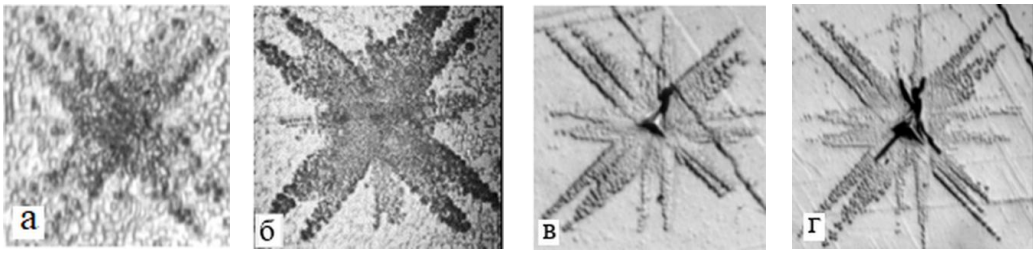


Рисунок 2. Вид дислокационных розеток на подложках LiF и MgO после снятия слоя Cu, t_1 = 85 нм. Нагрузка, *P*, мН: Cu/LiF: а – 200; б – 900. Cu/MgO: в – 300; г – 700. Увеличение – горизонтальная сторона каждого фотоснимка, мкм: а) – 100; б) – 220; в) – 80; г) – 120.

Далее важно было оценить насколько глубоко внутрь кристаллов подложки наблюдается выявленный эффект асимметрии. С этой целью были проведены исследования на структурах Cu/LiF и Cu/MgO, имеющих три толщины слоя Cu: 85, 470 и 1000 нм. На каждом образце наносились отпечатки на нанотестере при раз-

личных нагрузках в интервале *P*=(3-900) мН. Было выбрано 18 нагрузок и наносилось по 5 отпечатков для каждой нагрузки. После нанесения отпечатков слой Cu удалялся химическим путем, и открытая поверхность подложки подвергалась избирательному химическому травлению для выявления дислокационных структур отпечатков. Таким способом можно проследить за эффектом асимметрии дислокационных розеток на разной глубине вдавливания индентора.

Как следует из графиков, представленных на Рис.3, одновременно с увеличением нагрузки и, соответственно, размера дислокационных розеток асимметрия краевых лучей начинает проявляться ярче. Причем отмечено различие между длиной краевых лучей подложек: на LiF формируются 2 длинных луча и 2 коротких, а на MgO все 4 луча отличаются по своей длине. Как было продемонстрировано в работе [11], причиной эффекта является различная ориентация индентора Берковича по отношению к кристаллографическим направлениям образца, в связи с чем назван ориентационным эффектом. Дислокационная розетка меняет свою форму при повороте индентора относительно элементов скольжения кристалла, создавая в нем тот или иной вид структуры деформации. Причем величина эффекта зависит как от ориентации индентора, так и от твердости кристалла, увеличиваясь с возрастанием последней, что отчетливо продемонстрировано на Рис. 3.

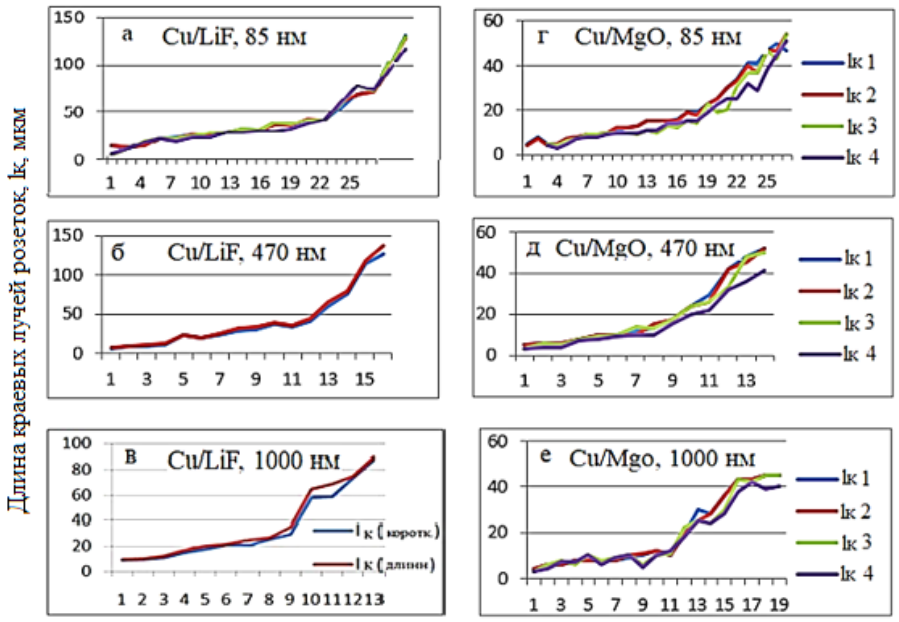


Рисунок 3. Изменение длины краевых лучей дислокационных розеток на подложках структур Cu/LiF и Cu/MgO в зависимости от величины приложенной нагрузки, *P*=(3-900) мН. На LiF два длинных луча близки по размерам и объединены на одну кривую, аналогично для двух коротких лучей (а). На MgO все 4 краевых луча по своим размерам отличаются друг от друга (б)

Дальнейшие исследования позволили выявить еще одну закономерность. Она заключается в том, что с увеличением толщины пленки длина дислокационных лучей розеток на подложке уменьшается (рис. 4 и 5).

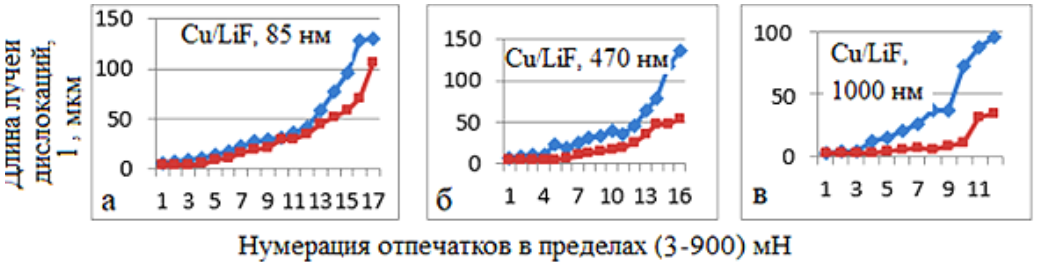


Рисунок 4. Изменение длины краевых (*l*к, синие) и винтовых (*l*в, красные) лучей дислокационных розеток на подложках структур Cu/LiF в зависимости от величины нагрузки, *P*=(3-900) мН

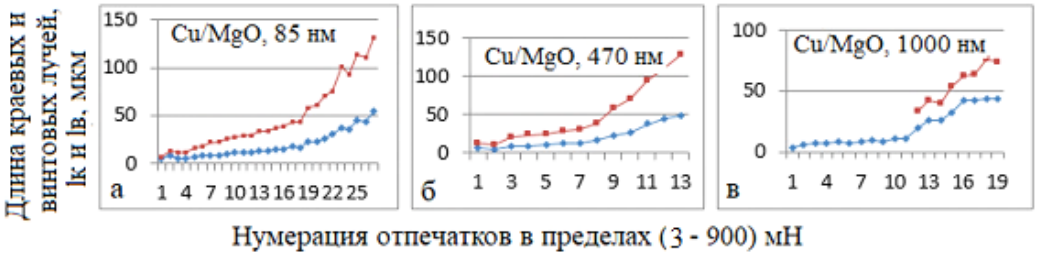


Рисунок 5. Изменение длины краевых (*l*к, красные кривые) и винтовых (*l*в, синие кривые) лучей дислокационных розеток на подложках структур Cu/MgO в зависимости от величины приложенной нагрузки, *P*=(3-900) мН

Однако в отличие от предыдущих закономерностей эффект уменьшения размера розеток ярче проявляется на более мягком кристалле (LiF), чем на твердом (MgO) и, по всей вероятности, связан с различной подвижностью дислокаций: LiF – $v_{\text{инд. дисл.}} = (10^{-5} \div 10^{0})$ см/с, MgO – $v_{\text{инд. дисл.}} = (10^{-6} \div 10^{-2})$ см/с и, как следствие, меньшей плотностью дислокций в розетках LiF по сравнению с розетками в MgO.

Экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, и сравнение с результатами прежних исследований [8-11], позволили установить основные факторы проявления эффекта асимметрии и ориентационного эффекта в композитных структурах типа слой/подложка. Основными из них являются следующие: форма индентора, его ориентация относительно кристаллографических направлений образца и элементов скольжения, подвижность дислокаций в деформируемом кристалле, твердость кристалла и величина приложенной нагрузки.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе проведено изучение особенностей формирования дислокационных розеток, возникающих в подложках композитных структур типа слой/подложка, при нано-микроиндентировании. Выявлен эффект асимметрии образования дислокационных розеток в подложках при внедрении индентора Берковича в структуры Cu/LiF и Cu/MgO. Установлено, что эффект асимметрии зависит от ряда факторов, как внешних, так и внутренних: форма индентора (трехгранная пирамида), ее ориентация, величина приложенной нагрузки, тип кристаллической структуры образца, подвижность дислокаций, величина твердости деформируемого кристалла.

Наряду с этим был выявлен ориентационный эффект. Он проявляется в том, что дислокационная розетка меняет свою форму при повороте индентора относительно элементов скольжения кристалла, создавая в нем тот или иной вид структуры деформации. Величина эффекта зависит как от ориентации индентора, так и от твердости кристалла, увеличиваясь с возрастанием последней. Полученные результаты выявили большое сходство в специфике деформирования монокристаллов и более сложных структур, что подтверждает предположение об общем характере выявленных закономерностей при нано-микроиндентировании трехгранной пирамидой Берковича.

ЛИТЕРАТУРА:

1. OLIVER W.C., PHARR G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *J. Mater. Res.* 1992, vol.7(6), p. 1564–1583.
2. VOLINSKY. A.A., GERBERICH W.W. Nanoindentaion techniques for assessing mechanical reliability at the nanoscale. *Microelectronic Eng.* 2003, vol.69, p. 519–527.
3. DAVID T., VOLINSKY A.A. Thin films for microelectronics and photonics: physics, mechanics, characterization, and reliability. *Handbook*. 2007, 50201, p. 135–180.
4. TSUI T.Y., OLIVER W.C., PHARR G.M. Nanoindentation of soft films on hard substrates: The importance of pile- up. *MRS Proceedings.* 1996, vol.436, p. 207–212.
5. CHEN S., LIU L., WANG T. Investigation of the mechanical properties of thin films by nanoindentation, considering the effects of thickness and different coating–substrate combinations. *Surf. Coat. Technol*. 2005, vol.191, p. 25–32.
6. YANG J., Y. HUANG Y., XU K. Effect of substrate on surface morphology evolution of Cu thin films deposited by magnetron sputtering. *Surf. Coat. Technol*. 2007, vol.201 p.5574–5577.

7. TSUI T.Y., ROSS C.A., PHARR G.M. Nanoindentation hardness of soft films on hard substrates: effects of the substrate. *Symposium J-Mater. Reliability in Microelectronics*, 1997, VII, p. 57.
8. БОЯРСКАЯ Ю.С., ГРАБКО Д.З., КАЦ М.С. Физика процессов микроиндентирования. Штиинца, Кишинев. 1986, 294 с.
9. GRABCO D., PUSHKASH B., DYNTU M., SHIKIMAKA O. Thermal evolution of the deformation zones at microindentation of the different type crystals. *Phil. Mag. A*., 2002, vol.82(10), p. 2207-2215.
10. GRABCO D.Z., PYRTSAC K.M., GHIMPU L.Z., VOLODINA G.F. Mechanical properties of the coating/substrate composite system: nanostructured copper films on a LiF substrate. *Surf. Eng.& Appl. Electrochem.,* 2016, vol. 52(4), p. 319–333.
11. GRABCO D., PYRTSAC C., SHIKIMAKA O. The sensitivity of dislocation rosettes to the shape of a Berkovich indenter on LiF and MgO Crystals. *Phys. Solid State,* 2020, vol. 62(8), p.1386–1393.

(N.B.) ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ: *Данное исследование было поддержано исследовательской Подпрограммой* ***011201*** *Института прикладной физики Государственного университета Молдовы, финансируемой Министерством образования и научных исследований Республики Молдова.*

ВЛИЯНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОВИТКОВОЙ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

INFLUENCE OF UNIDIRECTIONAL CIRCULATION ON THE CHARACTERISTICS OF A MULTI-TURN PULSATING HEAT PIPE

CZU: 621.565.83:537.8 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.122**

Олег МОТОРИН
ORCID: 0000-0001-7529-2616
E-mail: oleg.motorin@ifa.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Игорь ПОДЛЕСНЫЙ
ORCID: 0009-0001-0009-2318
E-mail: igor.podlesnii@ifa.usm.md
Молдавский государственный университет, Кишинэу, Республика Молдова

Summary*. The influence of heat flux density and voltage on the electrohydrodynamic (EHD) pump on thermal resistance, as well as on the temperatures of evaporation and condensation zones of a pulsating heat pipe with three and five turns is studied. A one-dimensional model of the EHD pump is considered. In the presence of EHD pumping, only a gradual start-up mode is observed, the temperature of the evaporation zone is lower than in its absence and it can be regulated within small limits. With an increase in the supplied power, the average temperatures of the evaporation and condensation zones increase. A generalization of the dependences of thermal resistance on the supplied thermal power is carried out.*

Keywords*: pulsating heat pipe, electrohydrodynamic pump, start-up, thermal resistance, generalization*.

ВВЕДЕНИЕ

Передача и отвод тепла, выделяющегося при работе различного оборудования, всегда были и остаются крайне важными задачами, актуальность которых в последние десятилетия только возросла в связи с мировой тенденцией к миниатюризации. Весьма перспективным направлением решения этих задач и повышения теплотехнических параметров процессов является использование замкнутых испарительно-конденсационных систем (ИКС). Примером ИКС могут служить тепловые трубы, впервые предложенные Р.С. Гоглером и Г.М. Гровером [1]. В тепловых трубах для передачи больших тепловых потоков при малых градиентах температуры используются фазовые переходы: в зоне нагрева жидкость превращается в пар, который переносится в зону конденсации, где, конденсируясь, отдает тепло. С

помощью капиллярно-пористой структуры конденсат возвращается в зону нагрева и цикл повторяется. Дальнейшее развитие тепловые трубы получили в патентах Г.Ф. Смирнова [2] и Х. Акачи [3] где приводится описание пульсационной тепловой трубы (ПТТ). За счет исключения капиллярно-пористой структуры им удалось значительно упростить устройство тепловой трубы. В наиболее простом виде пульсационная тепловая труба представляет собой змеевидно изогнутую трубку небольшого диаметра, из которой откачан воздух и которая заполнена определенным количеством жидкости. Одни части трубки нагреваются, а другие охлаждаются. При подведении определенной тепловой мощности в трубке начинается интенсивное пульсационное движение парожидкостной смеси и происходит перенос тепла из зоны нагрева в зону охлаждения. Несмотря на простую конструкцию, движение парожидкостной смеси внутри ПТТ носит очень сложный характер и зависит от многих факторов. Более того, в одинаковых условиях ПТТ может длительное время находиться в четырех различных квазистационарных состояниях [4]. Наиболее благоприятным, с теплотехнической точки зрения, является режим однонаправленной циркуляции теплоносителя. Так, в [4, 5] отмечается, что однонаправленная циркуляция улучшает теплообменные характеристики ПТТ. Ее можно добиться путем внесения определенных изменений в конструкцию ПТТ [6 - 9] или с помощью внешнего силового воздействия, например, используя электрогидродинамическую (ЭГД) прокачку [10]. В данной работе рассматривается влияние однонаправленной циркуляции, создаваемой ЭГД насосом, на термическое сопротивление трех- и пятивитковой ПТТ.

ЭГД НАСОС

Электрогидродинамический насос осуществляет прямое преобразование энергии электрического поля в кинетическую энергию заряженной жидкости. Имеются три основные механизма возникновения кулоновской силы: инжекция, индукция и проводимость. Система основных уравнений электрогидродинамики для слабопроводящих несжимаемых жидкостей имеет вид [11, 12]

$$\nabla(\varepsilon\mathbf{E}) = \rho, \tag{1}$$

$$\nabla\times\mathbf{E} = 0, \tag{2}$$

$$\nabla\,\mathbf{j} + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0, \tag{3}$$

$$\nabla\,\mathbf{v} = 0, \tag{4}$$

$$\rho_m\frac{\partial\mathbf{v}}{\partial t} + \rho_m(\mathbf{v}\nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \eta\nabla^2\mathbf{v} + \mathbf{f}, \tag{5}$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, ρ – объемная плотность заряда, ρ_m – плотность жидкости, E – напряженность электрического поля, j – объемная плотность электрического тока, v – скорость жидкости, f – объемная плотность внешних сил, p – давление в жидкости, η – коэффициент динамической вязкости.

Для стационарного случая уравнение непрерывности тока (3) записывается следующим образом:

$$\nabla \mathbf{j} = 0 . \tag{6}$$

Плотность тока в жидкости можно разложить на две составляющие: конвекционную $j_к$ и миграционную j*, тогда $j = j_к + j^* = \rho \cdot v + \sigma \cdot E$. Получаем

$$\nabla (\rho \cdot \mathbf{v} + \sigma \cdot \mathbf{E}) = 0 . \tag{7}$$

В стационарных условиях и с учетом малости члена, учитывающего диффузию, уравнение движения жидкости (5) принимает вид:

$$\rho_m (\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \mathbf{f} . \tag{8}$$

Поляризационные силы практически не оказывают влияние на течение жидкости при наличии в ней объемных зарядов [13], поэтому в уравнении импульсов можно учитывать только кулоновскую силу:

$$\rho_m (\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \rho \mathbf{E} , \tag{9}$$

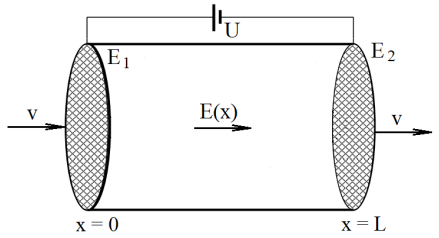


Рисунок 1. Расчётная схема ЭГД насоса

На рис. 1 представлена простейшая одномерная расчётная схема ЭГД насоса. Систему ЭГД уравнений (1), (2), (4), (7), (9) в этом случае можно записать в следующем виде:

$$\rho = \varepsilon_0 \varepsilon \, dE / dx , \tag{10}$$

$$\frac{d}{dx}(\rho \mathrm{v} + \sigma E) = 0 , \tag{11}$$

$$\frac{dp}{dx} - \rho E + \xi \, \rho_m \mathrm{v}^2 / (2L) = 0 , \tag{12}$$

$$dV / dx = 0. \tag{13}$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления ЭГД насоса.

Граничные условия: E(0) = E_1, E(L) = E_2, v(0) = v. Здесь E_1 и E_2 – напряженности поля на эмиттере и коллекторе насоса, соответственно. Решение этой системы обыкновенных дифференциальных уравнений для создаваемого напора имеет вид:

$$p = 2\frac{k-1}{k+1}(\varepsilon_0 \varepsilon E_{cp}^2 + 4\frac{\mathrm{v}}{b}) - \frac{\xi \cdot \rho_m \mathrm{v}^2}{2},$$

где $E_{cp} = (E_1 + E_2)/2$, $k = E_2 / E_1$.

Максимальный напор будет в статическом режиме (при v = 0):

$$p_{\max} = 2\frac{k-1}{k+1}\varepsilon_0 \varepsilon E_{cp}^2.$$

Из последнего уравнения можно сделать вывод, что максимальный напор ЭГД насоса в целом пропорционален квадрату средней напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве насоса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследования проводились на экспериментальном стенде, описанном ранее в [14], где электрическое поле действовало на зону кипения. В данном исследовании вместо воздействия на зону кипения в контур ПТТ был встроен ЭГД насос (рис. 2). Это дало возможность упростить конструкцию устройства за счет исключения стеклянных вставок с соосно установленными высоковольтными электродами и, соответственно, уменьшить количество мест соединений участков трубки.

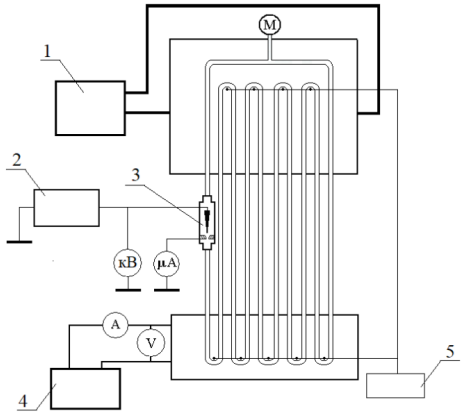


Рисунок 2. Схема экспериментального стенда: 1 – термостат, 2 – источник высокого напряжения; 3 – ЭГД насос; 4 – источник напряжения; 5 – микровольтметр

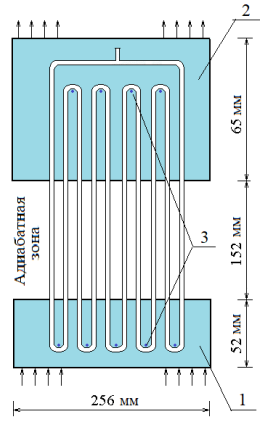


Рисунок 3. Схема ПТТ: 1 – зона испарения; 2 – зона конденсации; 3 – термопары

Попадание паровых пузырьков в ЭГД насос является нежелательным, так как возникает опасность электрического пробоя межэлектродного промежутка и нарушения работы насоса. Для исключения этого явления температура ЭГД насоса с помощью воздушного охлаждения поддерживалась на уровне менее 20 °С.

Геометрические размеры ПТТ остались неизменными (рис. 3) для возможности сравнения теплотехнических характеристик двух конструкций. В качестве теплоносителя использовался *н*-гексан. Для подвода тепла использовался алюминиевый блок, внутри которого были установлены два омических нагревателя мощностью по 50 Вт. Для обеспечения низкого термического сопротивления места контакта ПТТ с алюминиевым блоком смазывались термопастой.

Корпус ЭГД насоса изготовлен из органического стекла, а электроды - из латуни. В конструкции насоса предусмотрена возможность изменения межэлектродного расстояния без разборки насоса. В данной работе используется ЭГД насос инжекционного типа с электродной системой вида “игла-кольцо”, характеристики которого приведены ниже (рис. 4, 5):

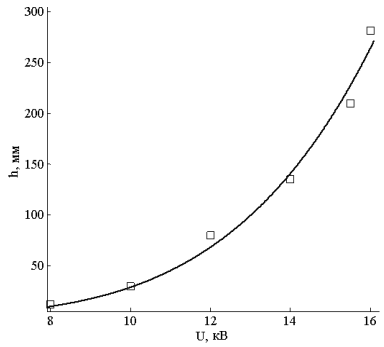


Рисунок 4. Напорная характеристика ЭГД насоса

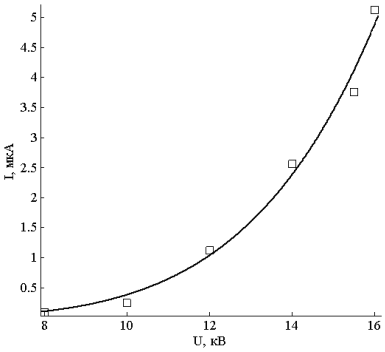


Рисунок 5. Вольтамперная характеристика ЭГД насоса

Методика проведения эксперимента и измерений описана в [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

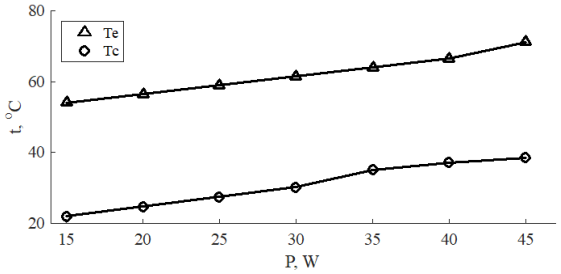
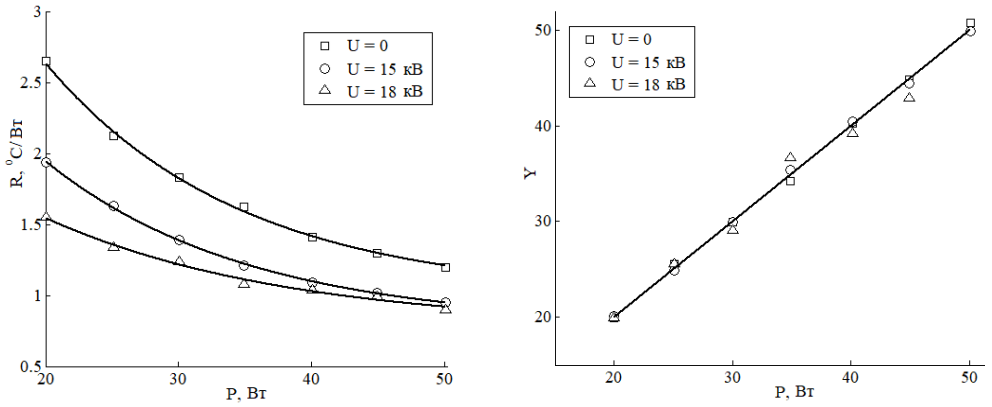


Рисунок 6. Средние стационарные температуры зон испарения и конденсации в зависимости от подводимой тепловой мощности. Количество витков – 3, рабочая жидкость – н-гексан, степень заполнения 0,7

Применение ЭГД насоса для интенсификации теплообменных процессов в ПТТ имеет ряд преимуществ по сравнению с воздействием электрического поля на зону кипения: упрощается конструкция, всегда происходит плавный запуск ПТТ и получены меньшие значения термического сопротивления. Средние температуры зон испарения и конденсации при увеличении подводимой тепловой мощности линейно возрастают (рис. 6), при подаче высокого напряжения на ЭГД-насос происходит снижение температуры этих зон на 2-4 °С. При малых тепловых мощностях ЭГД прокачка позволяет уменьшить термическое сопротивление ПТТ в 1,7 раза (рис. 7а).

Обобщение экспериментальных данных проводилось по методике, описанной в [15]. Для аппроксимации использовались зависимости вида $R = a \cdot e^{-bP} + c$, где a, b и c - некоторые коэффициенты, зависящие от напряжения U, подаваемого на ЭГД насос. Отложив по оси ординат выражение $Y = -\dfrac{\ln((R - c)/a)}{b} = P$, мы вместо трех кривых получаем биссектрису первой четверти. Аппроксимируя a, b и c как функции от U, получаем:
$a = -0{,}1988 \cdot U + 6{,}538$; $b = -0{,}0005537 \cdot U + 0{,}06907$; $c = -0{,}0132 \cdot U + 0{,}9976$.



а) Термическое сопротивление б) Обобщенная зависимость Y(P,U)

Рисунок 7. Тепловые характеристики пятивитковой ПТТ от подводимой мощности при различных напряжениях на электродах: степень заполнения 60%, жидкость - н-гексан

Обобщенная зависимость $Y(P,U)$ приведена на рис. 7б.

ВЫВОДЫ

Проведено экспериментальное исследование влияния ЭГД прокачки на термическое сопротивление ПТТ. С увеличением тепловой мощности термическое сопротивление ПТТ снижается. При наличии ЭГД прокачки наблюдается снижение термического сопротивления во всем исследованном диапазоне тепловых мощно-

стей. Влияние прокачки сильнее проявляется при малых значениях тепловой мощности. С ростом тепловой мощности температуры зон испарения и конденсации линейно возрастают, включение ЭГД прокачки позволяет уменьшить температуру зоны испарения на 2-4 °С.

Проведено обобщение зависимостей термического сопротивления от подводимой тепловой мощности и напряжения на электродах ЭГД насоса путем сведения их к биссектрисе первой четверти.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании устройств для охлаждения и термостатирования различного оборудования.

Н.Б. Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Министерства образования и исследований Республики Молдова, подпрограмма 011203.

ЛИТЕРАТУРА:

1. MUELLER, C., TSVETKOV, P. A review of heat-pipe modeling and simulation approaches in nuclear systems design and analysis. În: *Annals of Nuclear Energy*. 2021. v. 160, 108393. ISSN 1873-2100.
2. ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. *Пульсирующая тепловая труба*: Авторское свидетельство № 504065, Изобретатели СМИРНОВ, Г.Ф., САВЧЕНКОВ, Г.А. кл. F 28D 15/00. Опубл. 25.02.76, Бюллетень №7.
3. AKACHI, H. Structure of micro-heat pipe, US Patent 4921041. June 15, 1993.
4. KHANDEKAR, S., GAUTAM, A.P., SHARMA, P.K. Multiple quasi-steady states in a closed loop pulsating heat pipe. În: *International Journal of Thermal Sciences*. 229. v. 48, nr. 3, p. 535-546. ISSN 1778-4166.
5. PASTUKHOV, V.G., MAYDANIK, Yu.F. Development of a pulsating heat pipe with a directional circulation of a working fluid. In: *Applied Thermal Engineering*. 2016. v. 109, part. A, p. 155–161. ISSN 1359-4311.
6. MEENA, P., RITTIDECH, S., POOMSA-AD, N. Application of closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) air-preheater for reduced relative-humidity in drying systems. In: *Applied Energy*. 2007. v. 84, nr. 5, p. 553-564. ISSN 0306-2619.
7. KWON, G.H., KIM, S.J. Operational characteristics of pulsating heat pipes with a dual-diameter tube. În: *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2014. v. 75, p. 184-195. ISSN 0017-9310.
8. EBRAHIMI, M., SHAFII, M.B., BIJARCHI, M.A. Experimental investigation of the thermal management of flat-plate closed-loop pulsating heat pipes with interconnecting channels. În: *Applied Thermal Engineering*. 2015. v. 90, p. 838-847. ISSN 1359-4311.
9. JANG, D.S., LEE, J.S., AHN, J.H., KIM, D., KIM, Y. Flow patterns and heat

transfer characteristics of flat plate pulsating heat pipes with various asymmetric and aspect ratios of the channels. În: *Applied Thermal Engineering*. 2017. v. 114, p. 211-220. ISSN 1359-4311.

10. BOLOGA, M.K., GROSU, F.P., KOZHEVNIKOV, I.V., POLIKARPOV, A.A., MOTORIN, O.V. Heat transfer at electrohydrodynamic pumping through in an evaporator-condensing system. În: *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014. v. 50, p. 238–245. ISSN 1068-3755.
11. MELCHER, J. R. *Continuum electromechanics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1981. 627 p. ISBN 9780262131650.
12. RAMOS A. (Ed.) *Electrokinetics and electrohydrodynamics in microsystems*, 2011, Springer, 302 p. (CISM, v. 530), ISBN 978-3-7091-0899-4.
13. ПАНКРАТЬЕВА, И. Л., ПОЛЯНСКИЙ, В. А. Моделирование электрогидродинамических течений в слабопроводящих жидкостях. În: *Прикладная механика и техническая физика*. 1995. т. 36, в. 4, с. 36–44. ISSN 0869-5032.
14. МОТОРИН, О., БОЛОГА, М. Характеристики пульсационной тепловой трубы при воздействии электрического поля. În: *Conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională «Integrare prin Cercetare şi Inovare»,* 9−10 noiembrie 2023, Chisinau, CEP USM, 2024, p. 660−667. ISBN 978-9975-62-687-3.
15. GROSU, F.P., BOLOGA, AN.M., PAUR, H.-R., BOLOGA, M.K., MOTORIN, O.V. Generalization of the Townsend current-voltage characteristics of a corona discharge. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014. v. 50, nr. 4, p. 306–310. ISSN 1934-8002.

CUPRINS

BIOLOGIE ŞI ECOLOGIE

Biologie vegetală

Alina BOGDAN, Maricica COLŢUN
AROMATIC SPECIES WITH MELLIFEROUS POTENTIAL OF THE LAMIACEAE L. FAMILY STUDIED IN THE BOTANICAL GARDEN 5
Nina CIOCÂRLAN
SPECII MEDICINALE NOI INTRODUSE ÎN GRĂDINA BOTANICĂ NAȚIONALĂ.....13
Natalia CÎRLIG, Victor ŢÎŢEI, Ana GUŢU, Elena IURCU-STRĂISTARU, Mihai GADIBADI
SILPHIUM PERFOLIATUM L. – PLANTĂ CU POTENȚIAL MELIFER 20
Maricica COLŢUN, Alina BOGDAN
DROUGHT-TOLERANT AROMATIC AND MEDICINAL PLANTS 27
Liudmila CORLATEANU, Anatolie GANEA, Serghei MASLOBROD
APPLICATION OF MILLIMETER RADIATION TO INCREASE THE VIABILITY OF LENTIL (*LENS CULINARIS* L.) SEEDS DURING *EX SITU* CONSERVATION..34
Sergiu DOBROJAN, Galina DOBROJAN
EVALUAREA PERFORMANȚELOR DE CREȘTERE A CIANOBACTERIEI *NOSTOC GELATINOSUM* SCHOUSBOE EX BORNET & FLAHAULT CULTIVATĂ PE DIFERITE MEDII NUTRITIVE.....40
Sergiu DOBROJAN, Gheorghe JIGĂU, Galina DOBROJAN
INFLUENȚA ALGELOR VERZI ASUPRA GERMINĂRII SEMINȚELOR UNOR PLANTE DE CULTURĂ.....48
Maria DUCA, Steliana CLAPCO, Angela PORT, Ana MUTU
ANALIZA EXPRESIEI GENEI NPR1 LA UNELE GENOTIPURI DE FLOAREA-SOARELUI CU REZISTENȚĂ DIFERITĂ LA *Orobanche cumana*.....55
Lidia GAVRILIȚA
CELE MAI RĂSPÂNDITE SPECII DE *TRICHOGRAMMA SPP.* COLECTATE DE LA DIFERITE CULTURI AGRICOLE ÎN REPUBLICA MOLDOVA 63
Tatiana GRIGOROV
VARIAȚII FENOTIPICE LA ORZUL DE TOAMNĂ (M_0) PRIN IRADIEREA CU RAZE X ȘI STRES HIDRIC LA STADIUL DE GERMINARE 68

Ana GUȚU, Victor ŢÎŢEI, Mihai GADIBADI, Nicolae DARADUDA,
Andreea ANDREOIU, Simona ACATRINEI (DUMITRIU), Mihai STAVARACHE,
Cristian GAVRILĂ, Veaceaslav MAZĂRE, Romina MAZĂRE
INDICI DE CALITATE AI BIOMASEI ENERGETICE DE *SILPHIUM PERFOLIATUM* ÎN MOLDOVA 76
Natalia JELEV, Alexandru DASCALIUC, Andrei GOREA
EFECTUL STRESULUI DE SECETĂ ASUPRA MOBILIZĂRII SUBSTANȚELOR DE REZERVĂ ÎN TIMPUL GERMINĂRII SEMINȚELOR ALE DIFERITELOR SOIURI DE GRÂU 86
Galina LUPAȘCU, Nicolae CRISTEA, Svetlana GAVZER
CERCETĂRI ALE INTERACȚIUNILOR *PATOGENI FUNGICI – GRÂU COMUN* 96
Lucian LUPAȘCU, Svetlana GAVZER, Nicolae CRISTEA, Galina LUPAȘCU,
Eugenia STÎNGACI, Marina ZVEAGHINȚEVA, Natalia SUCMAN, Fliur MACAEV
ACTIVITATEA ANTIFUNGICĂ A UNOR DERIVAȚI VINIL-TRIAZOLICI CĂTRE *FUSARIUM LATERITIUM* (W.G. SM.) SACC IN VITRO 102
Milania MAKOVEI
THE ROLE OF MICROGAMETOPHYTE SELECTION FOR IDENTIFICATION OF TOMATO FORMS RESISTANT TO ABIOTIC STRESS FACTORS 110
Anatolii MOGÎLDA
ANALIZA VARIABILITĂȚII FENOTIPICE A UNOR CARACTERE CANTITATIVE LA GENOTIPURILE DE SUSAN (*Sesamum indicum* L.) 117
Tatiana SALTANOVCI, Larisa ANDRONIC, Liudmila ANTOCI
MODIFICAREA ACTIVITĂȚII MICROGAMEȚILOR LA DESCENDENȚII TOMATELOR REINFECTATE CU VIRUSURI 125
Nicola SASANELLI, Elena IURCU STRAISTARU, Stefan RUSU, Alexei BIVOL,
Ion TODERAS, Alena N. KONRAT
TREATMENTS WITH OZONATED WATER AGAINST THE PARASITIC NEMATODES MELOIDOGYNE INCOGNITA IN TOMATO 133
Elena SAȘCO
EVALUAREA STABILITĂȚII GENETICE ÎN FAZA VEGETATIVĂ TIMPURIE LA *TRITICUM AESTIVUM* L. PENTRU RĂSPUNSUL UNOR CARACTERE MORFOLOGICE LA STRESUL DE SECETĂ ȘI CĂLDURĂ 137
Victor ŢÎŢEI
COMPOZIȚIA BIOCHIMICĂ ȘI VALOAREA NUTRITIVĂ A MASEI PROASPETE DE *SILPHIUM PERFOLIATUM* ‘Vital’ ÎN DEPENDENȚĂ DE PERIOADA RECOLTĂRII 145
Victor ŢÎŢEI, Alexei ABABII, Marcela DRAGOȘ, Mihai GADIBADI,
Veaceaslav DOROFTEI, Andreea ANDREOIU, Paul ZEVEDEI, Teodor MARUȘCA
INDICII DE CALITATE A MASEI PROASPETE RECOLTATE DE SPARCETĂ DE NISIP *ONOBRYCHIS ARENARIA* ȘI TRIFOI ROZ *TRIFOLIUM HIBRIDUM* 153

Victor ŢÎŢEI, Ana GUŢU, Vasile Adrian BLAJ, Mihai GADIBADI, Andreea ANDREOIU, Monica TOD, Adrian-Ilie NAZARE, Paul ZEVEDEI, Teodor MARUŞCA
INDICII DE CALITATE A MASEI PROASPETE DE *MEDICAGO SATIVA* L. 161
Елена БЫЛИЧ
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ КУКУРУЗЫ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ.....171
Владимр РОТАРУ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОМАТОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ В РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА.....177
Валентина СВЕТЛИЧЕНКО, Анна ПОПОВИЧ
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЛОДОВ СЛИВЫ И ЯБЛОНИ ПО НЕКОТОРЫМ БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА И УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ 185
Татьяна ЩЕРБАКОВА
РОЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИСТОЧИКОВ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ГИФОМИЦЕТА *LECANICILLIUM LECANII* ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В ЖИДКИХ СРЕДАХ ГЛУБИННЫМ МЕТОДОМ.....192

Biologie umană şi animală

Svetlana BACAL, Galina BUŞMACHIU, Cristian MÎNZAT, Tamara VERINGĂ, Livia CALESTRU
CONTRIBUŢII LA CUNOAŞTEREA INSECTELOR (COLEOPTERA, ODONATA, HYMENOPTERA) DIN PARCUL NAŢIONAL ORHEI.....199
Anatolie BACIU, Lyudmila LISTOPADOVA
INOVAŢII ÎN TEHNOLOGIILE EDUCAŢIONALE ŞI ÎN METODELE DE FORMARE PROFESIONALĂ CONTINUĂ BAZATE PE DEZVOLTAREA INTEGRĂRII SENZORIO-MOTORII 208
Elena CHIRIŢA, Victor MELNIC, Aurelia CRIVOI, Iurie BACALOV, Adriana DRUŢA
POTENŢIALUL HEMATOPROTECTIV AL UNOR PLANTE MEDICINALE ÎN CONTEXTUL DIABETULUI EXPERIMENTAL.....215
Liuba COREŢCHI, Ala OVERCENCO, Angela CAPAŢÎNA, Aurelia ABABII, Marina BOGDAN, Parascovia ROMANCIUC, Valentina CHIŞLARI, Svetlana BRUMĂ
CUNOAŞTEREA ŞI PERCEPŢIA RISCURILOR ASOCIATE RADIAŢIILOR IONIZANTE, CAUZATE DE RADON ÎN RÂNDUL POPULAŢIEI ADULTE DIN REPUBLICA MOLDOVA 221

Aurelia CRIVOI, Iurie BACALOV, Elena CHIRIŢA, Adriana DRUŢA, Ecaterina MELNIC
POTENȚIALUL PROFILACTIC ŞI TERAPEUTIC AL RESVERATROLULUI ÎN REDUCEREA CETONURIEI ȘI PROTEINURIEI INDUSE DE DIABETUL EXPERIMENTAL 228
Inga DELEU, Irina DELIPOVICI
EVALUAREA PARAMETRILOR BIOCHIMICI ÎN ORGANISMUL SPORTIVILOR DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ 235
Irina DELIPOVICI, Inga DELEU
DINAMICA EVOLUȚIEI INDICILOR FUNCȚIONALI AI ORGANISMULUI ELEVILOR PUBERTARI ÎN CICLUL ANUAL DE ÎNVĂȚĂMÂNT 242
Eugeniu DUDNIC, Liuba TURUTA, Natalia DUDNIC
UNELE ASPECTE PRIVIND DEZVOLTAREA SOMATO-FUNCŢIONALĂ ȘI MOTRICĂ LA ELEVI 248
Vera FAUSTINO
IMAGINEA DE SINE FIZICĂ A COPIILOR INTOLERANŢI ALIMENTAR 255
Svetlana GARAEVA, Lilia POLEACOVA, Galina POSTOLATI
REGLAREA HOMEOSTAZIEI SISTEMULUI IMUNITAR DE CĂTRE AMINOACIZII LIBERI ÎN FUNCȚIE DE ALIMENTAȚIE ȘI FUNCȚIONAREA UNOR SISTEME ALE ORGANISMULUI 264
Ion GOLOGAN, Ştefan RUSU, Dumitru ERHAN
IMPACTUL MONO- ȘI POLIINVAZIILOR ASUPRA CALITĂȚII CĂRNII LA SÂNGER (*Hypophthalmichthys molitrix* (VALENCIENNES, 1844)) 272
Ana LEORDA, Svetlana GARAEVA, Galina POSTOLATI
ROLUL RELAȚIEI BIDIRECȚIONALE DINTRE STRUCTURILE CEREBRALE ȘI MICROBIOTA INTESTINALĂ ÎN MENȚINEREA HOMEOSTAZIEI ORGANISMULUI 278
Ana LEORDA, Vladimir ŞEPTIȚCHI
SISTEME DE REGLARE A HOMEOSTAZIEI INTESTINALE ÎN CONDIȚII DE INACTIVITATE FIZICĂ ȘI PSIHICĂ 286
Ion MEREUŢĂ, Anatolie BACIU
CREŞTEREA EFICIENŢEI PROGRAMELOR DE PROFILAXIE, TRATAMENT ANTICANCERIGEN ŞI REABILITARE PRIN PREVENIREA SAU ATENUAREA SEVERITĂŢII TULBURĂRILOR NEUROLOGICE ŞI MINTALE 294
Victoria NISTREANU, Natalia DIBOLSCAIA, Alina LARION, Vladislav CALDARI
NOI ADĂPOSTURI SUBTERANE ALE LILIECILOR (MAMMALIA: CHIROPTERA) ÎN PARCUL NAȚIONAL ORHEI, REPUBLICA MOLDOVA 301

Victoria NISTREANU, Victor SÎTNIC, Anatolie SAVIN, Alina LARION, Teodor GLĂVAN-CARANGHEL
DIVERSITATEA PĂSĂRILOR ACVATICE DIN ECOSISTEMELE ACVA-PALUSTRE ALE LACURILOR DĂNCENI ȘI NIMORENI, R-NUL IALOVENI, REPUBLICA MOLDOVA 307
Lilia POLEACOVA, Svetlana GARAEVA, Galina POSTOLATI
PARTICULARITĂȚILE METABOLISMULUI AMINOACIZILOR ÎN CONDIȚIILE INFLUENȚEI FACTORILOR EXTREMI ASUPRA ORGANISMULUI 315
Ștefan RUSU, Dumitru ERHAN, Maria ZAMORNEA, Oleg CHIHAI, Viorelia RUSU, Ion GOLOGAN
VARIAȚII ALE UNOR INDICI AI STATUSULUI MORFOFUNCȚIONAL ȘI BIOCHIMIC LA CĂPRIOR (Capreolus capreolus LINNAEUS, 1758), PÂNĂ ȘI DUPĂ TRATAMENTUL ANTIPARAZITAR 323
Vadim RUSU, Ion TODERAŞ, Nadejda RAILEAN, Mihail BUDEANU, Igor PÎRŢU
ROLUL FACTORILOR ABIOTICI ÎN STABILIREA SISTEMULUI „PARAZIT-GAZDĂ” CONSTITUIT DE SPECII HIDROBIONTE.....335
Vadim RUSU, Ion TODERAŞ, Nadejda RAILEAN, Mihail BUDEANU, Igor PÎRŢU
VARIABILITATEA STATUTELOR BIOCHIMICE ALE PARTENERILOR SISTEMULUI „PARAZIT-GAZDĂ” 342
Vladimir ȘEPTIȚCHI, Olesea GROSUL-RAILEANU, Ana LEORDA, Alexandr ȘEPTIȚCHI
ACTIVITY OF PANCREATIC AMYLASE AND SMALL INTESTINE CARBOHYDRASES IN WHITE RATS WITH DIFFERENT LEVELS OF STRESS REACTIVITY DEPENDING ON THE PROTEIN CONTENT IN THE DIET 349
Cristina ȚUGULEA
CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF MOTHS (LEPIDOPTERA: BOMBYCOIDEA, LASIOCAMPOIDEA, HEPIALOIDEA, ZYGAENOIDEA, COSSOIDEA, THYRIDOIDEA, DREPANOIDEA, PYRALOIDEA) FROM ORHEI NATIONAL PARK.....355
Maria ZAMORNEA, Dumitru ERHAN, Ștefan RUSU, Oleg CHIHAI, Olesea GLIGA
ASOCIAȚII POLIPARAZITARE LA RAȚE (*ANAS PLATYRHYNCHOS DOMESTICUS* L. 1758) DIN ZONA DE CENTRU A REPUBLICII MOLDOVA 366
Natalia ZUBCOV, Elena ZUBCOV, Dumitru BULAT, Denis BULAT, Victor CIORNEA
ACUMULAREA MICROELEMENTELOR(METALE ȘI METALOIZI) ÎN SOMNUL EUROPIAN (*SILURUS GLANIS*, LINNAEUS, 1758) DIN RÂUL PRUT.....372

Ольга БУЛАТ, Валентина ЧОКИНЭ, Лилия ПОЛЯКОВА
ВЛИЯНИЕ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ С ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКОВ, ЖИРОВ И УГЛЕВОДОВ С И БЕЗ BioR НА МАССУ ТЕЛА КРЫС В ПЕРИОД ДИМИНУАЦИИ ФУНКЦИЙ.....381
Алексей ОРГАН, Ион МЕРЕУЦЭ, Станислав САНДУЦА, Борис УНТУ, Пётр УНТУ
КОРРЕКЦИЯ СЕКРЕТОРНО-МОТОРНЫХ НАРУШЕНИЙ У ПАЦИЕНТОВ С ДИСФУНКЦИЕЙ ЖЕЛУДКА МЕТОДОМ АКУПУНКТУРЫ 388
Нина ФУЛГА, Думитру БУЛАТ, Денис БУЛАТ
ПРЕДНЕРЕСТОВОЕ И ПОСЛЕ НЕРЕСТОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЯИЧНИКОВ ГУСТЕРЫ *BLICCA BJOERKNA* (LINNNEUS, 1758) В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПРУТА 394

Ecologie

Petru BACAL
PROBLEME ȘI REALIZĂRI ÎN APLICAREA AMENZILOR PENTRU ÎNCĂLCAREA LEGISLAȚIEI FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA.....399
Natalia BORODIN, Elena ZUBCOV, Nina BAGRIN
CONTRIBUȚIA AFLUENȚILOR RĂUT, BÂC ȘI BOTNA LA VARIABILITATEA FORMELOR DE AZOT ÎN FLUVIUL NISTRU ÎN PRIMĂVARA 2025.....408
Aliona BOTNARI, Viorica ANGHELUȚA, Ilie BOIAN
IMPACTUL ÎNGHEȚURILOR TÂRZII DE PRIMĂVARĂ ASUPRA CULTURILOR DE MĂR PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE.....416
Tatiana DUDNICENCO
PERSPECTIVELE DEZVOLTĂRII TURISMULUI ECOLOGIC ÎN PARCUL NAȚIONAL ORHEI 425
Teodor GLAVAN-CARANGHEL, Ștefan MANIC, Victoria NISTREANU, Victor SÎTNIC, Anatolie SAVIN
ANALIZA DINAMICII POPULAȚIILOR DE CERVIDE DIN REZERVAȚIA NATURALĂ „CODRII” 431
Ana JELEAPOV
EVALUAREA VARIAȚIEI CURGERII DE APĂ A RÂULUI LUNGA ÎN CONDIȚIILE SCHIMBĂRILOR CLIMATICE ACTUALE.....439

Gheorghe JIGĂU, Sergiu DOBROJAN, Galina DOBROJAN, Iurie MOŞOI, Boris TURCHIN, Eugeniu SPRÂNCEAN
COMPOSTAREA COMPLEXĂ A RESTURILOR VEGETALE ÎN STRATUL SUPERFICIAL AL PROFILULUI CERNOZIOMURILOR ARABILE: ABORDARE PEDOREGENERATIVĂ (ANALIZĂ CONCEPTUAL-SINTETICĂ) 446
Olga JURMINSKAIA, Elena ZUBCOV, Nina BAGRIN
EVALUAREA IMPACTULUI AFLUENȚILOR DE DREAPTA ASUPRA STĂRII ECOLOGICE A NISTRULUI ÎN REPUBLICA MOLDOVA SUB ASPECTUL SEZONIER.....454
Patricia MORARU
EVALUAREA SONDELOR ȘI SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APELOR SUBTERANE DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA ...466
Viorica PALADI, Ala DONICA, Polina CASSIR
ASPECTE PRIVIND CONSERVAREA BIODIVERSITĂȚII ÎN SITUL EMERALD „LACURILE PRUTULUI DE JOS”.....475
Valentin RĂILEANU, Rodica COJOCARI, Galina MÎNDRU, Viorica ȚURCAN
EVALUAREA CANTITĂȚILOR DE PRECIPITAȚII ÎN BAZINUL RÂULUI IALPUG ÎN SECOLUL XXI 482
Veaceslav SITNIC, Anatolie SAVIN
SOME ASPECTS OF THE ECOLOGICAL STRUCTURE OF THE POPULATION OF THE SPECIES *CERVUS ELAPHUS* (LINNAEUS, 1758) IN THE „PLAIUL BAGULUI” RESERVE.....491
Natalia SOCHIRCĂ, Andrei MUNTEANU
DIVERSITATEA SPECIILOR DE PĂSĂRI DIN ZONA AEROPORTULUI INTERNAȚIONAL CHIȘINĂU, REPUBLICA MOLDOVA.....498
Anatolie TĂRÎȚĂ, Aureliu OVERCENCO, Anna COMARNIȚCHI
REZERVAȚIILE DE RESURSE DE SOL DIN ZONA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA – MONUMENTE NATURALE VALOROASE PROTEJATE DE STAT 506
Laurentia UNGUREANU, Daria TUMANOVA
STAREA ACTUALĂ A ALGELOR PLANCTONICE DIN GRUPA *CHLOROPHYTA* ÎN LACUL DE ACUMULARE DUBĂSARI 517

GEOȘTIINȚE ȘI SILVICULTURĂ

Ilie BOIAN
PARTICULARITĂȚILE CONDIȚIILOR AGROMETEOROLOGICE ALE PRIMĂVERII ANULUI 2025 ȘI IMPACTUL LOR ASUPRA FAZELOR DE DEZVOLTARE A PRINCIPALELOR CULTURI AGRICOLE.....523

Natalia CIUBUC, Stela CURCUBAT, Sergiu PANĂ
UTILIZAREA PLANTELOR MEDICINALE ȘI AROMATICE ÎN AMENAJĂRILE PEISAGERE PUBLICE ȘI GRĂDINILE PRIVATE: PERSPECTIVE ȘI PRACTICI INTEGRATE 531
Irina COCIU, Vitalie SOCHIRCĂ, Adrian CIBOTARI
PATRIMONIUL CULTURAL MATERIAL DIN BAZINUL HIDROGRAFIC AL RÂULUI BOTNA..... 537
Sukanta DAS
MOUNTAIN URBANISM IN DARJEELING HIMALAYANS: INTEGRATING SUSTAINABILITY AND DISASTER PREPAREDNESS..... 545
Andrei DIDUH, Valerian CIOBOTARU, Alexandru TAMBUR, Hanna CHARUSHNIKAVA, Irina COCIU
MINERALOGENEZA FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DIN CADRUL SEGMENTULUI MOLDOVENESC A BAZINULUI R. NISTRU 554
Aliona ISAC, Dinu PREPELIȚĂ, Alexandru CORONOVSCHI
INFLUENȚA LACURILOR DE ACUMULARE ASUPRA REGIMULUI HIDROLOGIC AL RÂULUI BOTNA..... 560
Gheorghe JIGĂU, Sergiu DOBROJAN, Galina DOBROJAN, Iurie MOŞOI, Boris TURCHIN, Valentin GABERI, Eugeniu SPRÂNCEAN
CADRUL CONCEPTUAL-TEORETIC ŞI APLICATIV DE INTENSIFICARE A PROCESULUI PRODUCŢIONAL ŞI DE REGENERARE A PEDOGENEZEI CERNOZIOMICE ÎN REGIM AGRICOL 567
Constantin MORARU, Anastasia GROZA, Liubov VĂTĂMANU, Tatiana SICACIOVA, Maria TITOVEȚ, Elena MATVEEVA
MODEL GEOLOGIC CONCEPTUAL: DEPOZIT SUBTERAN PENTRU ÎNMAGAZINAREA GAZELOR NATURALE (REPUBLICA MOLDOVA) 575
Tatiana NAGACEVSCHI, Stela CURCUBET
CERNOZIOMUL DIN STEPA BĂLȚILOR CU TITLUL DE SOL AL ANULUI 2024, STAREA LUI ACTUALĂ ȘI METODE DE REABILITARE 581
Tatiana NAGACEVSCHI, Vitalie SOCHIRCĂ
INFLUENȚA ANTROPIZĂRII ASUPRA SOLULUI DIN ȘANȚURILE VALURILOR LUI TRAIAN DE JOS ȘI DE SUS DIN REPUBLICA MOLDOVA.... 589
Tapas PAL, Dorin LOZOVANU
PRACTISING ENVIRONMENTAL RITUALS IN INTERGENERATIONAL BENGAL KNOWLEDGE SYSTEM: COMMUNITY RESILIENCE, ECOLOGICAL STEWARDSHIP, AND ADAPTIVE MODEL OF INCLUSIVE FUTURES..... 597
Alexandru TAMBUR, Andrei DIDUH, Hanna CHARUSHNIKAVA, Irina COCIU, Victor JELEAPOV, Valerian CIOBOTARU
VARIETATEA DENSITĂȚII FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA..... 615

Николай АРНАУТ, Константин МОРАРУ, Елена МАТВЕЕВА, Любовь ВЭТЭМАНУ
РЕСУРСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МОЛДОВЫ 626
Константин МОРАРУ, Николай АРНАУТ, Елена МАТВЕЕВА, Любовь ВЭТЭМАНУ
ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА 634

CHIMIE ŞI TEHNOLOGIE CHIMICĂ

Iolanta BĂLAN, Mikhail GORBACIOV, Natalia GORINCIOI, Olga MOROZ
ACTIVITATEA ANTIOXIDANTĂ A LICHIDELOR IONICE FORMATE CA URMARE A INTERACȚIUNII CARNITINEI CU ACIZII ALIMENTARI 640
Vladislav BLONSCHI, Viorica GLADCHI, Maxim CISTEACOV, Elena BUNDUCHI, Angela LIS
ESTIMAREA PROCESELOR DE AUTOPURIFICARE A APELOR LACULUI DĂNCENI PRIN CONȚINUTUL DE SUBSTANȚE BIOGENE (PERIOADA ANILOR 2015-2024) 646
Elena BUNDUCHI, Octavian ZARA, Aliona MEREUȚA, Sergey BUZHOR
STERILIZAREA INDUSTRIALĂ A DISPOZITIVELOR MEDICALE DIN MASE PLASTICE CU OXID DE ETILENĂ 653
Olga DANILESCU, Polina BOUROȘ, Maria COCU, Ion BULHAC
COMPLEX MACROCICLIC AL Co(II) ÎN BAZA 2,6-DIACETILPIRIDINEI ȘI A DIHIDRAZIDEI ACIDULUI OXALIC 662
Maria GONȚA, Larisa MOCANU, Elizaveta LEOTIEVA
PROCESE DE OXIDARE AVANSATĂ A SURFACTANTULUI ANIONIC DODECILBENZOSULFONAT DE SODIU 670
Elena GORINCIOI, Tatiana ȘTEFANEȚ, Eugenia STÎNGACI, Vladimir VALICA, Fliur MACAEV
STUDII RMN ALE 1-(2-OXOPROPIL)SPIRO[[1,3] INDOLIN-3,2'-[1,3] DIOXOLAN-2-ONEI CU PROPRIETĂȚI ANXIOLITICE 677
Anastasia GOROBEȚ, Lilia CROITOR
ACIDUL 4-AMINOSALICILIC ÎN CRISTALE: O INCURSIUNE STRUCTURALĂ ÎN BAZA DE DATE STRUCTURALĂ CAMBRIDGE 685
Ianina GRAUR, Vasilii GRAUR, Victor TSAPKOV, Aurelian GULEA, Greta BALAN, Carolina LOZAN-TIRSU
SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF 1-(AZEPAN-1-YL) PROPANE-1,2-DIONE 4-PHENYLTHIOSEMICARBAZONE AND ITS COPPER(II) COMPLEXES 692

Timur KUROGLO, Roman RUSNAC
COMPUȘI COORDINATIVI AI BAZELOR SCHIFF CU SĂRURILE DE CUPRU(II). SINTEZA, ANALIZA ȘI POTENȚIALE APLICAȚII BIOLOGICE 698
Angela LIS, Viorica GLADCHI, Elena BUNDUCHI, Vladislav BLONSCHI
OPTIMIZAREA EXTRACȚIEI ASISTATE CU ULTRASUNETE A COMPUȘILOR BIOACTIVI DIN SEMINȚELE DE *CANNABIS SATIVA L.* 706
Maria MÎNĂSCURTĂ, Tudor JOVMIR, Sergiu ŞOVA, Vasile LOZAN
SINTEZA ȘI STRUCTURA COMPUSULUI COORDINATIV AL Cu(II) CU 2-(SALICILIDENHIDRAZONO)TIAZOLIDIN-4-ONA 714
Larisa MOCANU, Maria GONȚA
OXIDAREA ȘI MINERALIZAREA CATECOLULUI DIN SOLUȚII APOASE UTILIZÂND PROCESE OMOGENE.....722
Aliona PÎNTEA, Roman RUSNAC, Sergiu SHOVA, Aurelian GULEA
SYNTHESIS AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF 3-{-[(2 HYDROXYPHENYL)METHYLIDENE]AMINO}-5-(2-METHYLPROPYL)-2-SULFANILYDENEIMIDAZOLIDIN-4-ONE 730
Igor POVAR, Oxana SPÎNU
ANALIZA VARIAȚIILOR FUNCȚIILOR TERMODINAMICE ÎN SISTEME REALE DE TIP „SARE PRECIPITATĂ – SOLUȚIE APOASĂ” 735
Maria SANDU, Raisa LOZAN, Elena MOŞANU, Anatolie TĂRÎȚĂ
AUTOPURIFICAREA (AUTOEPURAREA) APELOR UZATE MENAJERE ŞI INDUSTRIALE TRATATE CONFORM TEHNOLOGIILOR DE EPURARE EXPERTIZATE ŞI APROBATE ÎN REPUBLICA MOLDOVA 743
Irina USATAIA, Vasilii GRAUR, Aurelian GULEA, Olga GARBUZ, Greta BALAN
BIOLOGICALLY ACTIVE 3d METAL COMPLEXES WITH 2-FORMYL- AND 2-ACETYLPYRIDINE 4,S-DIALLYLISOTHIOSEMICARBAZONES: SYNTHESIS, STRUCTURE, AND PROPERTIES 753
Mariana ZAVTONI, Vladimir BERNIC, Inga MIRON
SUBSTANȚELE CHIMICE – PERICOL POTENȚIAL PENTRU SĂNĂTATE 761
Марина ЧАБАНОВА, Евгения СТЫНГАЧ, Флюр МАКАЕВ
ПОЛУЧЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ КЛАССА 2H-ХРОМЕНА КЕТАЛИЗАЦИЕЙ 1,2,4-ТРИАЗОЛИЛЭТАНОНОВ.....768

MATEMATICĂ ŞI INFORMATICĂ

Maria CAPCELEA, Titu CAPCELEA
METODA B-SPLINE COLOCAȚIEI PENTRU ECUAȚII INTEGRALE FREDHOLM CU MEMBRUL DREPT DISCONTINUU.....774

Dumitru IEŞEANU, Tudor BRAGARU
EXPLORAREA ITEMILOR DE TIP POTRIVIRE CU RĂSPUNSURI SCURTE ALEATORII PE MOODLE....782
Tudor LEAHU
CONTRIBUIREA SINERGIEI UNITĂȚILOR INFORMAȚIONALE LA REALIZAREA INFORMATICĂ TOTALĂ A SISTEMULUI MANAGERIAL 789
Dan LEFTER, Maria CAPCELEA
PROGNOZAREA ADMITERII UNIVERSITARE BAZATĂ PE MODELE STATISTICE ȘI INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ....797
Ludmila NOVAC
ENHANCING BUSINESS PROCESSES THROUGH SALESFORCE INTEGRATION WITH OTHER SYSTEMS....802
Alexandru ȘUBĂ, Vitalie PUȚUNTICĂ
SISTEME DIFERENȚIALE CUBICE CU UN FASCICUL DE DREPTE AFINE INVARIANTE ȘI LINIA DE LA INFINIT DE MULTIPLICITATEA DOI 807
Inga ȚIȚCHIEV, Olesea CAFTANATOV, Lucía AMORÓS-POVEDA
IMPACTUL TEHNOLOGIILOR AR ÎN PROMOVAREA ÎNVĂȚĂRII PROFUNDE ÎN CONTEXTE EDUCAȚIONALE MULTILINGVE....813

FIZICĂ ŞI INGINERIE

Elena ACHIMOVA, Vladimir ABAȘKIN, Veronica CAZAC, Constantin LOȘMANSCHII, Vladislav BOTNARI
SURFACE MORPHOLOGY STUDY OF AZOPOLYMER-BASED NANOCOMPOSITES AS A FUNCTION OF NANOPARTICLE CONCENTRATION USING AFM....819
Victor AVDEEV, Marina S. FONARI, Paulina BOUROSH
COCRYSTAL 2,4-DIAMINO-6-PHENYL-1,3,5-TRIAZINE 4-HYDROXYBENZOIC ACID DIHYDRATE: CRYSTAL STRUCTURE AND HIRSHFELD SURFACE ANALYSIS 828
Iulia BORIS, Vadim SIRKELI, Denis NIKA
DYNAMIC MEMORY IN C++: A DIDACTIC APPROACH 836
Iurie BOȘNEAGA
DESPRE CĂILE OPTIME DE ASIGURARE A DEZVOLTĂRII DURABILE A REPUBLICII MOLDOVA....841
Ion M. CERNICA
ASUPRA DEDUCERII ECUAȚIILOR NAVIER–STOKES PENTRU MIȘCAREA LAMINARĂ A FLUIDELOR VÂSCOASE INCOMPRESIBILE....849

Oxana IASENIUC, Victor VERLAN
SINTEZA, CARACTERIZAREA STRUCTURALĂ ȘI OPTICA MATERIALELOR VITROASE $(As_{45}S_{15}Se_{40})_{1-x}Sn_x$ SUB FORMĂ MASIVĂ ȘI PELICULE SUBȚIRI ...858
Alexandru MICU
CARACTERIZAREA FILMELOR SUBȚIRI DE ZnO PE SUPORTURI DE MgO (100) PRIN METODA GENERĂRII ARMONICII OPTICE SECUNDE 868
Alisa MOȘNEAGA, Petru LOZOVANU, Mariana SAVVA
THE INFLUENCE OF THE MOON PHASE ON THE DEVELOPMENT OF SOME AGRICULTURAL CROPS.....876
Irina PALADII, Elvira VRABIE, Valeria VRABIE, Tatiana STEPURINA, Albert POLICARPOV, Cătălina SPRINCEAN
ASPECTELE RECUPERĂRII CONCENTRATELOR PROTEICE MINERALE LA ELECTROACTIVAREA ZERULUI.....886
Iryna ROMANCHUK, Sergii VERBYTSKYI, Nataliia RIABININA, Nataliia PATSERA, Olha KOZACHENKO
TECHNICAL REGULATION THROUGH STANDARDIZATION: THE CASE OF DAIRY AND MEAT INDUSTRIES 895
Vadim SIRKELI, Iulia BORIS, Denis NIKA
PEDAGOGICAL APPROACHES TO TEACHING JAVASCRIPT FUNCTIONS: A FOCUS ON ARROW, NAMED, ANONYMOUS, AND CALLBACK FUNCTIONS.....902
Marina TURCAN
RADIATION EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF EFFECTIVE IMPLEMENTATION 909
Сергей БАРАНОВ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОПРОВОДА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ...917
Дарья ГРАБКО, Константин ПЫРЦАК, Ольга ШИКИМАКА
ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ФОРМЫ ДИСЛОКАЦИОННЫХ РОЗЕТОК, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПОДЛОЖКАХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР ПЛЁНОК...926
Олег МОТОРИН, Игорь ПОДЛЕСНЫЙ
ВЛИЯНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОВИТКОВОЙ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ 934

Culegere de articole științifice

Conferinţa ştiinţifică naţională cu participare internaţională

INTEGRARE PRIN CERCETARE ŞI INOVARE,

dedicată Zilei Internaționale a Științei pentru Pace și Dezvoltare

6-7 noiembrie 2025

Științe exacte și ale naturii

Asistență computerizată – *Maria Bondari*

Bun de tipar 2025. Formatul 70x100 $^{1}/_{12}$.
Coli de tipar 79,5. Coli editoriale 65,0.
Comanda.

Editura USM
str. Al. Mateevici, 60, Chișinău, MD 2009
e-mail: *editurausm@gmail.com*