# 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 ($20\pm2^0$C) 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.*