

**UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**  
**INSTITUTUL DE CHIMIE**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: [502.51:504.5+628.39]:544.725(282.247.314)(043.2)

**CULIGHIN ELENA**

**STUDIUL GRADULUI DE POLUARE A SOLULUI ȘI APELOR  
NATURALE ÎN DISTRICTUL HIDROGRAFIC NISTRU ȘI UTILIZAREA  
METODELOR ADSORBȚIONALE DE REMEDIERE**

**SPECIALITATEA 145.01 – CHIMIE ECOLOGICĂ**

Rezumat al tezei de doctor în științe chimice

**CHIȘINĂU, 2025**

Teză a fost elaborată în cadrul Institutului de Chimie al Universității de Stat din Moldova.

**Conducător științific:**

Tudor Lupașcu, acad., dr. hab. în șt. chim., prof. cerc., Institutul de Chimie al USM

**Consultant științific:**

Oleg Bogdevici, dr. în șt. geol., conf. cerc., Institutul de Chimie al USM

**Referenți oficiali:**

1. Nastas Raisa, dr. în șt. chim., conf. cerc., Institutul de Chimie al USM
2. Covaliova Olga, dr. hab. în șt. chim., conf. cerc., Institutul de Chimie al USM

**Componența consiliului științific specializat:**

1. Povar Igor, **președinte al CȘS**, dr. hab. în șt. chim., conf. cerc., Institutul de Chimie al USM
2. Bunduchi Elena, **secretar al CȘS**, dr. în șt. chim., conf. univ., USM
3. Gonța Maria, **membru al CȘS**, dr. hab. în șt. chim., prof. univ., USM
4. Țîmbaliuc Nina, **membru al CȘS**, dr. în șt. chim., conf. cerc., Institutul de Chimie al USM
5. Ciornea Victor, **membru al CȘS**, dr. în șt. chim., Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău
6. Rozloga Iurii, **membru al CȘS**, dr. în șt. biol., conf. cerc., Institutul de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului “Nicolae Dimo”

Susținerea va avea loc la **11 aprilie 2025**, ora **13.00**, în ședința Consiliului științific specializat D 145.01-24-29 din cadrul Universității de Stat din Moldova, mun. Chișinău, MD-2009, str. A. Mateevici 60, blocul 4, sala 222.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Universității de Stat din Moldova (<https://library.usm.md/>) și pe pagina web a ANACEC (<https://www.anacec.md/ro>).

Rezumatul a fost expediat la 7 martie 2025.

Secretar științific al CȘS,  
Dr. în șt. chim., conf. univ.  
**Bunduchi Elena**

Conducător științific  
Acad., dr. hab. în șt. chim., prof. cerc.  
**Lupașcu Tudor**

Consultant științific  
Dr. în șt. geolog., conf. cerc.  
**Bogdevici Oleg**

Autor  
**Culighin Elena**

## CUPRINS

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII .....                                         | 4  |
| CONȚINUTUL TEZEI .....                                                            | 8  |
| 1. POLUAREA SOLULUI ȘI A APELOR NATURALE.....                                     | 8  |
| 2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE .....                                         | 11 |
| 3. GRADUL DE POLUARE AL SOLURILOR ȘI APELOR NATURALE.....                         | 16 |
| 4. UTILIZAREA SORBENȚILOR PENTRU REMEDIEREA SOLURILOR ȘI APELOR<br>NATURALE ..... | 20 |
| CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI GENERALE.....                                            | 24 |
| BIBLIOGRAFIE .....                                                                | 26 |
| LISTA PUBLICAȚIILOR AUTOAREI LA TEMA TEZEI.....                                   | 28 |
| ADNOTARE.....                                                                     | 33 |
| ANNOTATION .....                                                                  | 34 |
| АННОТАЦИЯ .....                                                                   | 35 |

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

### **Actualitatea și importanța temei abordate.**

Poluarea solului și a apelor naturale reprezintă o problemă majoră de mediu, accentuată de intensificarea activităților agricole și industriale. Substanțele toxice, precum metalele grele și poluanții organici persistenți, afectează biodiversitatea și sănătatea umană prin acumulare în lanțurile trofice [1]. În districtul bazinului hidrografic Nistru (DBHN), sursele de poluare includ agricultura intensivă și activitățile industriale, ceea ce necesită măsuri eficiente de monitorizare și remediere [2]. Studiile arată că poluarea solului și apei poate persista pe termen lung, având un impact negativ asupra resurselor naturale și a calității vieții [3]. Prin urmare, este esențială implementarea unor politici de reducere a poluării și promovarea tehnologiilor sustenabile pentru protecția mediului.

În conformitate cu Legea apei nr. 272/2011, gestionarea resurselor acvatice în Republica Moldova se bazează pe principiul bazinului hidrografic, având două unități principale: Nistru și Dunăre-Prut-Marea Neagră, în limitele hotarelor naționale [4]. Districtul bazinului hidrografic Nistru acoperă aproximativ 59% din teritoriul țării, incluzând administrativ 39 de orașe și 554 sate și conținând aproximativ 80% din resursele de apă subterane exploatabile. În vederea protecției și utilizării durabile a acestor resurse, a fost aprobat Planul de gestionare al DBHN în anul 2017 [2], a cărui obiectiv 3.2.1 prevede evaluarea impactului poluării cu poluanți organici persistenți asupra bazinelor râurilor mici din DBHN. Totuși, raportul privind implementarea măsurilor pentru perioada 2017-2022 arată că această activitate nu a fost realizată [5].

Poluarea solului, a apelor poate avea și consecințe socio-economice semnificative, afectând sectorul agricol, piscicol, turistic și alte sectoare economice, precum și calitatea vieții și bunăstarea comunităților locale din districtul bazinului hidrografic Nistru.

Soluționarea problemei de poluare a mediului cu substanțe organice persistente și alți compuși chimici poate implica utilizarea unei varietăți de metode de remediere, care pot fi aplicate în funcție de natura și amploarea poluării. Printre aceste metode se numără:

a. De biodescompunere: utilizarea microorganismelor sau a enzimelor pentru a descompune și a transforma substanțele organice persistente în compuși mai puțin toxici sau nepericuloși. Procesul de biodescompunere poate avea loc natural în mediu sau poate fi stimulat și accelerat prin adăugarea de microorganisme specifice sau de nutrienți [6-8].

b. De fitoremediere: utilizarea plantelor (cum ar fi trestia sau alte plante) pentru a absorbi și a metaboliza substanțele organice persistente din sol sau apă. Plantele pot fi cultivate în zonele afectate de poluare pentru a reduce concentrațiile de substanțe toxice din mediu [7,9-10].

c. De extracție cu solvenți: utilizarea solvenților organici pentru a extrage substanțele organice persistente din sol sau apă. Substanțele extrase pot fi apoi tratate sau eliminate în mod corespunzător, reducând astfel concentrația poluantului în mediu.

d. De tratamente chimice: utilizarea anumitor substanțe chimice pentru a degrada sau a neutraliza compușii organici persistenti din mediul ambiant. Aceste tratamente pot implica oxidarea, reducerea sau alte reacții chimice care transformă poluantul în produși mai puțin toxici sau nepericuloși.

e. De adsorbție: utilizarea unor materiale adsorbante (cum ar fi cărbunele activat, zeoliții sau anumite tipuri de argilă) pentru a capta și a reține substanțele organice persistente din mediu. Materialele sorbente pot fi utilizate pentru tratarea solurilor, a apelor subterane sau de suprafață, contribuind la reducerea concentrațiilor de poluanți.

**Scopul acestei lucrări** este investigarea gradului de poluare a solului și apelor naturale în districtul bazinului hidrografic Nistru și cercetarea privind utilizarea metodelor sorbționale ca modalitate de remediere a poluării.

#### **Obiectivele cercetării:**

1. Analiza factorilor și principalelor surse de poluare a solului și apelor naturale în DBH Nistru.
2. Caracterizarea chimică și fizică a probelor de sol și apă prin determinarea concentrațiilor de poluanți, inclusiv metale grele și compuși organici persistenti, utilizând metode analitice avansate.
3. Evaluarea variației concentrațiilor de POPs din sol în timp, pentru a determina tendințele de acumulare și degradare, corelată cu identificarea și caracterizarea surselor majore de poluare a ecosistemelor din regiune.
4. Evaluarea eficienței diferitelor materiale în eliminarea poluanților organici și anorganici din sol și apă.
5. Analiza costurilor și beneficiilor aplicării metodelor selectate, cu accent pe eficiența lor în reducerea impactului poluării.
6. Elaborarea recomandărilor practice pentru gestionarea și remedierea poluării solului și apei în DBH Nistru, pentru luarea deciziilor la planificarea și implementarea măsurilor de protecție a mediului și de gestionare a riscurilor asociate poluării, atenționând autoritățile locale, operatorii industriali și fermierilor.

**Ipoteza de cercetare** se bazează pe faptul că în cadrul DBH Nistru nivelul de poluare a solului și apelor naturale este unul semnificativ, influențat de activitățile antropice, în special de sursele agricole, care contribuie la acumularea poluanților organici persistenti (POPs) și a metalelor grele. Studiul stării actuale și utilizarea materialelor sorbente poate reduce semnificativ concentrațiile de poluanți organici persistenti și de metale grele din sol și apă în DBH Nistru, contribuind la remedierea poluării și restabilirea calității mediului înconjurător.

**Noutatea și originalitatea științifică.** Cercetările realizate contribuie la aprofundarea cunoștințelor privind gradul de poluare a solului și apelor naturale din DBH Nistru și la dezvoltarea unor metode eficiente de remediere bazate pe procese sorbționale. În cadrul studiului au fost obținute date noi referitoare la distribuția spațială și concentrațiile poluanților specifici, evidențiindu-se factorii determinanți ai contaminării. Pentru prima dată, este documentată evoluția temporală a poluării cu POPs în solurile din DBH Nistru în cazul lipsei intervenției de remediere a acestor soluri.

În comparație cu studiile existente la nivel național și internațional, aceste cercetări aduc o contribuție inovatoare prin aplicarea unor tehnici moderne de remediere bazate pe adsorbție, utilizând materiale autohtone, inclusiv din surse naturale, ca agenți de remediere biodegradabili. Această metodă este implementată la nivel de laborator și poate constitui baza unor soluții valabile pentru reducerea poluării solului și a apei, la nivel național. Acest aspect permite formularea unor recomandări practice pentru politici publice și strategii de remediere, aplicabile nu doar în Republica Moldova, ci și în alte regiuni cu probleme ecologice asemănătoare.

**Problema științifică soluționată** în această lucrare constă în identificarea și evaluarea nivelurilor și surselor principale ale poluării solului și a apelor naturale în districtul bazinului hidrografic Nistru, și studierea tehnicilor de remediere disponibile și a limitelor acestora, ceea ce a condus la identificarea metodelor sorbționale de remediere, adecvate pentru reducerea poluării cauzate de poluanții organici persistenți și metalele grele.

**Semnificația teoretică** a lucrării constă în contribuția sa la determinarea gradului de poluare a solului și apelor naturale în DBH Nistru, precum și în dezvoltarea și aplicarea unor metode sorbționale pentru remedierea acestora. Studiul își propune să extindă cunoștințele existente privind utilizarea proceselor de sorbție pentru remedierea poluării, identificând materiale eficiente și fezabile pentru depoluarea solului și a apei. De asemenea, lucrarea aduce o contribuție semnificativă domeniului chimiei mediului prin corelarea nivelurilor de poluare cu sursele antropice și naturale, oferind astfel un suport teoretic solid pentru măsurile de remediere și gestionare sustenabilă a resurselor de apă și sol. Prin urmare, rezultatele obținute în această teză de doctorat pot servi drept bază pentru cercetări viitoare în domeniul protecției mediului, contribuind la dezvoltarea unor strategii de management al poluării adaptate condițiilor specifice ale districtului bazinului hidrografic Nistru.

**Valoarea aplicativă** a lucrării constă în contribuția la completarea bazei de date naționale cu acces deschis privind poluarea cu poluanți organici persistenți (POPs), furnizând date relevante despre distribuția și concentrația acestora în sol și ape. Aceste informații sunt esențiale pentru dezvoltarea politicilor de mediu și a strategiilor de remediere, facilitând luarea unor decizii argumentate la nivel național și regional. De asemenea, lucrarea aduce o contribuție semnificativă la

creșterea gradului de informare a populației cu privire la impactul poluării și la măsurile de prevenire și remediere. Prin diseminarea rezultatelor cercetării și promovarea soluțiilor identificate, se pot sensibiliza comunitățile locale și factorii de decizie asupra necesității protejării resurselor naturale.

Studiul oferă soluții concrete pentru reducerea concentrației poluanților în medii acvatice și terestre, având un impact direct asupra protecției ecosistemelor și sănătății populației. Materialele sorbente studiate pot fi implementate în procese tehnologice destinate tratării apei și solului, având potențialul de a fi utilizate în stațiile de epurare și în proiectele de refacere a terenurilor contaminate. Astfel, lucrarea nu doar că aduce o contribuție teoretică semnificativă, ci oferă și soluții practice pentru reducerea impactului poluării asupra mediului și societății.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Rezultatele științifice au contribuit la completarea bazei de date naționale privind poluarea cu POPs (<https://www.moldovapops.md/infomanagement/default.htm>). Prin această contribuție, rezultatele tezei devin un instrument esențial pentru autoritățile de mediu și instituțiile de cercetare, ajutând la elaborarea unor strategii de prevenire și remediere bazate pe date științifice actualizate. În comparație cu studiile existente la nivel național și internațional, acest studiu aduce o contribuție inovatoare prin modificarea metodelor existente de remediere a solului, prin adăugarea cărbunelui activ în procesul tehnologic, și testarea în condiții de laborator, utilizând materiale autohtone, inclusiv din surse naturale ca agenți de remediere biodegradabili. Cercetările privind utilizarea sorbenților autohtoni au contribuit la obținerea unui brevet de invenție. Rezultatele au devenit și parte componentă a 4 proiecte internaționale și a 3 proiecte naționale.

**Publicații la tema tezei.** Rezultatele obținute la tema tezei sunt publicate în 51 de lucrări științifice: o monografie colectivă, 1 carte cu caracter informativ, 1 brevet de invenție, 3 articole în reviste cu factor de impact, patru articole în reviste din străinătate recunoscute, 1 articol în reviste naționale de categoria A (fără coautori), 8 articole și contribuții în alte culegeri de lucrări științifice și 32 de teze și rezumate naționale (1) și internaționale (31).

## CONȚINUTUL TEZEI

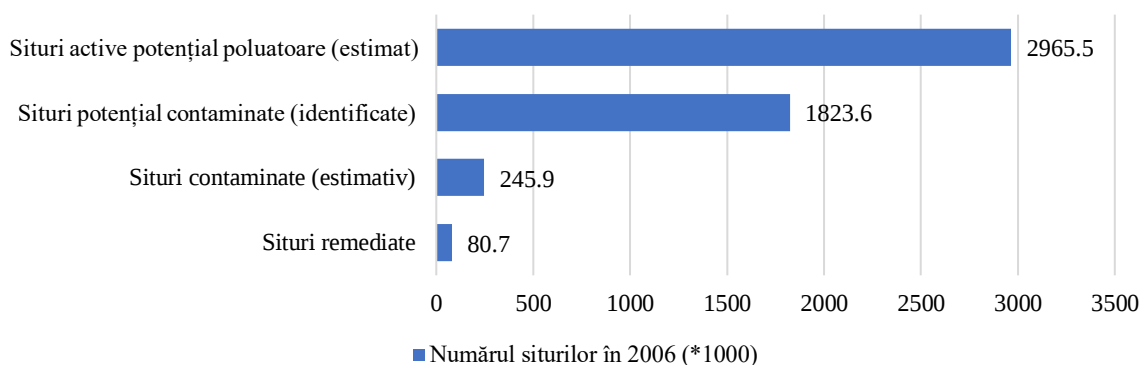
### 1. POLUAREA SOLULUI ȘI A APELOR NATURALE

În primul capitol sunt analizate principalele surse de poluare și impactul acestora asupra ecosistemelor. Poluanții organici persistenți, precum DDT și derivații săi, sunt identificați în sol la concentrații ce depășesc limita admisibilă stabilită de legislația națională și internațională. De asemenea, metalele grele precum plumbul și mercurul sunt identificate în probele de apă și sol la valori semnificativ mai mari decât nivelurile de referință. Capitolul prezintă impactul acestor poluanți asupra biodiversității locale și sănătății umane, evidențiind necesitatea unor măsuri urgente de remediere.

#### 1.1 Poluarea solului și a apei - o problemă de mediu mondială

Poluarea solului ar putea apărea din cauza proceselor naturale și a activității antropice. În prezent, poluarea solului are loc aproape exclusiv ca urmare a activității omului. Cele mai importante surse antropice de poluare și contaminare se referă la eliminarea deșeurilor, activitățile industriale și comerciale, depozitări și deversări de combustibili de la transport sau a diferitor substanțe chimice, eliminarea necorespunzătoare a deșeurilor nucleare sau eliberări de materiale radioactive din cauza unor accidente, etc. [11].

Pentru a evalua gradul de poluare, în prezent sunt elaborate și implementate câteva platforme de colectare a datelor și urmărire a parametrilor biologici și fizico-chimici ai solului. Astfel țările membre ale Uniunii Europene fac parte dintr-o rețea Thematic Strategy on Soil Protection [12], de asemenea se evaluează investigările siturilor potențial poluate în aceste țări. Conform raportului elaborat de Centrul comun de Cercetare (JRC) sunt identificate circa 2,8 milioane de situri care au fost sau sunt poluate (Figura 1.1), și cca 40% din țări au un registru național al acestor situri, doar în 4 țări nu există un registru oficial al siturilor contaminate (Slovenia, România, Malta, Macedonia de Nord) [13].



**Fig. 1.1 Siturile poluate în țările UE (2006) [14]**

În Republica Moldova, există inițiative pentru crearea unor baze de date naționale privind starea calității solurilor. Una dintre acestea este Sistemul Informațional „Registru solurilor

Republicii Moldova”, aprobat de Guvern în decembrie 2014 [15]. Registrul solurilor oferă doar date despre tipurile de sol. Accesul la informații se realizează prin geoportalul soluri.md [16], însă datele privind poluarea solului nu sunt disponibile și accesibile publicului. Deși există inițiative pentru dezvoltarea unor baze de date deschise, accesul la astfel de informații rămâne limitat, iar utilizatorii pot consulta doar anumite servicii de rețea precum WMS și WFS pentru vizualizarea datelor spațiale. Deși există inițiative și sisteme informaționale în curs de dezvoltare, disponibilitatea și accesul public la o bază de date națională despre poluarea solului nu pare a fi pe deplin realizat în prezent.

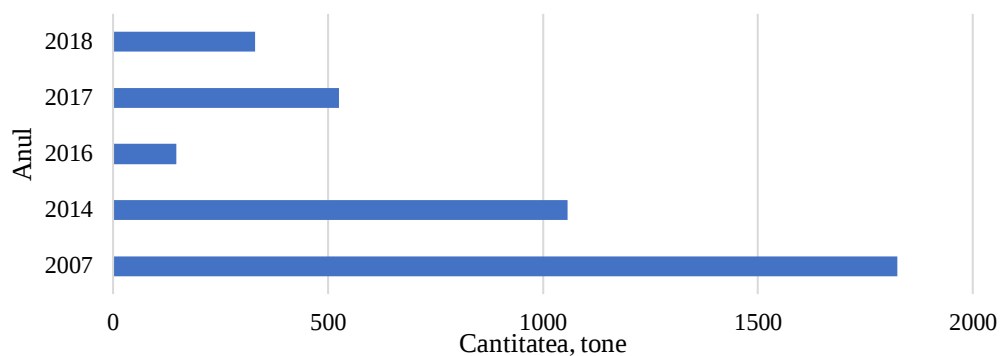
Calitatea apelor și a solurilor este evaluată în baza unor concentrații maxime admisibile, stabilite pentru anumiți parametri chimici. Calitatea apei este reglementată prin acte normative naționale, precum și prin adoptarea, preluarea sau armonizarea standardelor internaționale, cum ar fi valorile stabilite de Organizația Mondială a Sănătății (OMS) [17] sau Directiva-cadru europeană privind Apa [18]. În unele țări, aceste reglementări includ liste detaliate ale indicatorilor, în timp ce în altele, aceste liste sunt destul de sumare. Datele oferite de către rapoartele ONU, constată că circa 60% din corpurile de apă evaluate în 89 de țări au o calitate bună a apei naturale [19]. Totodată, nu există un sistem de evidență a datelor privind calitatea apei în majoritatea țărilor. Acest lucru ar însemna că sănătatea a mai mult de 3 miliarde de oameni este expusă riscului, deoarece calitatea ecosistemelor de apă dulce este necunoscută [19].

## **1.2 Problema poluării solurilor și apelor în Moldova**

Republica Moldova se confruntă cu degradarea accentuată a solurilor, cauzată de eroziunea naturală și cea antropică. Aproximativ 60% din terenurile agricole sunt cernoziomuri, însă utilizarea nesustenabilă duce la reducerea fertilității și la progresia deșertificării [20].

Utilizarea intensivă a pesticidelor în Republica Moldova, în perioada anilor 1950-1970 [21] a contribuit la contaminarea solurilor, în special în jurul fostelor depozite de pesticide. Moldova a exclus pesticidele din categoria poluanților organici persistenți (POPs), însă stocurile necontrolate continuă să reprezinte un risc major pentru mediu și sănătate [22].

Depozitul de la Cișmichioi, cel mai mare din țară, conține peste 3967 tone de pesticide, iar alte sarcofage sunt amplasate în Congaz, Step-Soci și Bujor [22]. În perioada 2007-2017, aproximativ 3874 tone de pesticide au fost colectate și eliminate. Raportul Național „Starea mediului în Republica Moldova” pentru perioada 2015-2018, indică faptul că în perioada anilor 2007-2017 au fost ambalate, evacuate și transportate spre neutralizare cca 3874 tone de pesticide (Figura 1.2) [23].



**Fig. 1.2. Cantitatea de pesticide evacuate din Republica Moldova (diagramă realizată de autor în baza [23-24])**

Monitorizarea calității apei potabile în anul 2022 a identificat abateri de la normele sanitare la parametrii chimici la peste: 72% din sondele arteziene; 57,8% din sistemele mici de alimentare cu apă din localitățile rurale; 17,6% din sistemul centralizat de alimentare cu apă potabilă din apeductele urbane alimentate din surse de suprafață; 50% din apeductele rurale; 78% din fântânile publice [25]. Conform aceluiași raport, în 2022, nici o probă de sol analizat din terenurile agricole nu a prezentat abateri de la normele sanitare [25].

Evaluarea nivelului și dinamicii concentrației metalelor grele și a compușilor de tipul POPs, atât în sol cât și în ape de suprafață și subterane este realizată și în baza datelor publicate de către centrele de cercetare din țară. Însă acest lucru, din păcate, este dificil în Republica Moldova, pentru că informațiile despre concentrațiile POC, metale grele, HAP, BPC și alte substanțe chimice nocive sunt limitate.

### **1.3 Transferul și impactul poluanților**

Poluanții din sol și apă au un impact direct asupra sănătății umane și biodiversității. Metalele grele, precum plumbul, cadmiul și mercurul, se acumulează în lanțul trofic, afectând organismele acvatice și culturile agricole. Expunerea la acești poluanți poate cauza intoxicații severe, afecțiuni neurologice și dezechilibre hormonale [26-28].

Transferul poluanților între sol, apă și atmosferă este influențat de factori climatici și de caracteristicile fizico-chimice ale acestora. Procesul de bioacumulare contribuie la persistența poluanților în mediu, făcând necesară aplicarea unor măsuri eficiente de remediere.

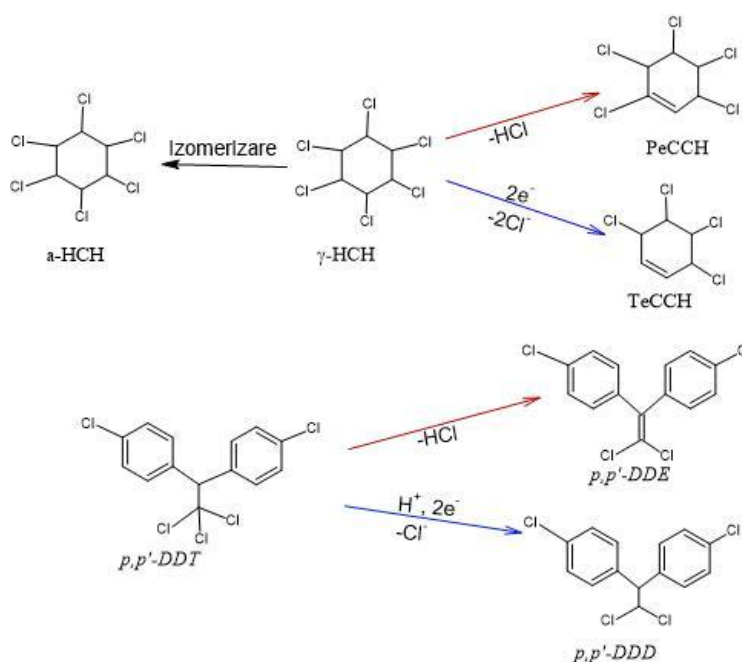
Poluanții organici persistenti (POPs), precum DDT și HCH, sunt cunoscuți pentru stabilitatea lor chimică și capacitatea de a persista în mediu pentru perioade îndelungate. Odată eliberați în ecosistem, acești compuși suferă transformări lente, influențate de factori precum tipul de sol, pH-ul, prezența microorganismelor și condițiile redox.

Diclor-difenil-triclorețanul (DDT) este un pesticid organoclorurat care, datorită hidrofobicității sale, are o tendință ridicată de a se adsorbi pe particulele de sol și sedimente [30].

În sol, sub influența proceselor microbiene și de fotodegradare, DDT este supus descompunerii, formând produși secundari precum DDD (diclorodifenildicloroetan) și DDE (diclorodifenildicloroetilenă) (Figura 1.3).

Hexaclorciclohexanul (HCH) este un amestec de izomeri organoclorurați, dintre care cel mai utilizat a fost lindanul ( $\gamma$ -HCH) [31].

(1) Acesta este mai solubil în apă comparativ cu DDT, dar prezintă o persistență ridicată în sol și ape subterane. În sol, HCH, supus proceselor de biodegradare anaerobă și dehidroclorinare, generează compuși precum pentaclorciclohexan și tetraclorciclohexan (Fig. 1.3).



**Fig. 1.3. Căi de transformare propuse a  $\gamma$ -HCH (a) și  $p,p'$ -DDT (b) [29]**

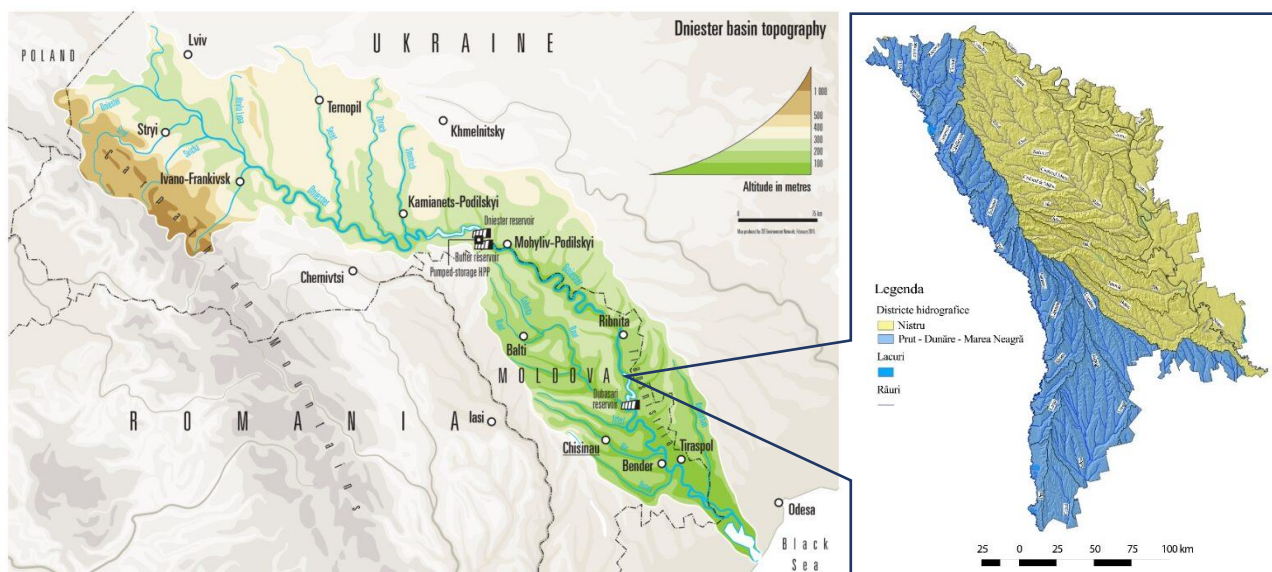
\*Săgețile roșii reprezintă dehidroclorinarea; săgețile albastre reprezintă decloroeliminarea; săgețile negre reprezintă alte mecanisme decât dehidroclorinarea și decloroeliminarea.

## 2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

În capitolul 2 este descrisă metodologia utilizată pentru colectarea și analiza probelor de sol și apă. Prelevarea probelor a fost realizată din zone cu risc ridicat de poluare, iar analiza acestora s-a efectuat prin tehnici avansate precum cromatografia gazoasă și spectrometria de absorbție atomică. De asemenea, sunt detaliate caracteristicile sorbenților testați, inclusiv cărbunele activ autohton și pectinele modificate, și expuse metodele utilizate pentru evaluarea eficienței acestora în procesul de remediere.

### 2.1. Obiectul de studiu al nivelului de poluare

Districtul bazinului hidrografic Nistru, face parte din bazinul Mării Negre și se întinde pe teritoriul Republicii Moldova, Ucrainei și Poloniei (Figura 2.1). Cu o lungime totală de 1362 km, fluviul Nistru traversează Moldova pe direcția est-sud-est, având o suprafață totală a bazinului de 72.100 km<sup>2</sup>, dintre care 19.200 km<sup>2</sup> în Republica Moldova, reprezentând 59% din suprafața țării. Din punct de vedere administrativ, districtul include 26 de raioane, 39 de orașe și 554 de sate. Acesta este împărțit în 14 sub-bazine hidrografice, fiind delimitat de bazinul Prutului la vest, de Nipru la nord și de Bugul de Sud la est [2], [32].



**Fig. 2.1. Harta districtului bazinului hidrografic Nistru (a) suprafața totală, (b) suprafața în cadrul Republicii Moldova [33]**

## 2.2. Prelevarea și pregătirea probelor de sol și apă

Pentru evaluarea nivelului de poluare, probele de sol au fost colectate în perioada anilor 2009-2019 din proximitatea fostelor depozite de pesticide, în conformitate cu standardul ISO 10382:2002. Probele de apă, prelevate în perioada 2013-2019, în conformitate cu standardul SM SR ISO 5667-6:2017, au fost analizate pentru determinarea metalelor grele și POPs.

## 2.3. Metode de analiză și remediere

Compușii POPs în probe solide (soluri, roci, etc.) au fost determinați după extracția asistată de microunde (EPA 3500B) și în probe lichide cu ajutorul extracției lichid-lichid (EPA 3510). Extractele obținute în hexan au fost analizate prin metoda de cromatografie gazoasă, în conformitate cu procedurile operaționale bazate pe metodele standard descrise în: ISO 10382:2002 (SM SR ISO 10382:2008), EPA 8081B, ISO/CD 23646, ISO 13876:2013: pe sistemul de cromatografie de gaz Agilent 6890 și cromatografie de gaz/detector de masă Agilent 6890/5973.

Parametrii sistemului sunt:

### GC Agilent 6890

- Tip injector: split/splitless; temperatura - 300°C; volum injectat - 2  $\mu$ L; split 5:1;
- Gaz purtător: He, 1,4 mL/min, sau viteza medie 30 cm/sec, debit constant;
- Tip coloană: HP-5MS lungime: 30 m, diametru interior 320  $\mu$ m, grosime film 0,25  $\mu$ m;
- Detector:  $\mu$ ECD, temperatura – 3200°C;
- Program cuptor: inițial: 100°C timp de 1 min, prima treaptă 20°C/min, izoterm: 200°C timp de 3 min, a doua treaptă 10°C/min, izoterm: 280°C timp de 6 min;
- Înregistrator/integrator: ChemStation, ChemStation Integrator.

### GC/MS Agilent 6890/5973

- Tip injector: split/splitless; temperatura - 300°C; volum injectat - 2 µL; splitless;
- Gaz purtător: He, 1,5 mL/min, sau viteză medie 49 cm/sec, debit constant;
- Tip coloană: HP-5MS lungime: 30 m, diametru interior 250 µm, grosime film 0,25 µm;
- Detector: MS, temperatura – 300°C;
- Parametrii MS: MS Quad - 150°C, interval de scanare 45-550 uam
- Program cuptor: inițial: 80°C timp de 1 min, prima treaptă 20°C/min, izoterm: 200°C timp de 2 min, a doua treaptă 10°C/min, izoterm: 280°C timp de 10 min;
- Înregistrator/integrator: ChemStation, ChemStation Integrator.

Prelucrarea datelor a fost realizată cu ajutorul softului integrat ChemStation, iar prelucrarea statistică a datelor prin intermediul MS Excel. Pentru asigurarea calității rezultatelor finale a fost utilizat un standard intern - decaclorobifenil (CAS # 2051-24-3).

Metalele grele au fost determinate în extractele acide ale solurilor și sedimentelor (digestia cu amestec de acizi HCl și HNO<sub>3</sub>, conform ISO 11466) și în probele de apă acidulate, prin spectrofotometrie de absorbție atomică, cu echipamentul AAnalyst800.

În cadrul cercetărilor au fost utilizate trei tehnologii SAA principale pentru analiza metalelor în apă și sol:

a) Absorbția atomică în flacără: Această metodă a fost utilizată pentru determinarea metalelor în sol (SM SR ISO 11047:2006), precum și a unor metale în apă (Cu, Zn, Fe, Sr) (SM SR ISO 8288:2006, GOST 23950-88). Pentru înlăturarea unor interferențe cauzate de matrice, pentru determinarea Cr și Mn, în probe a fost introdusă soluția de LaCl<sub>3</sub> (1:10, v/v).

b) Absorbția atomică în cuptor de grafit (fără flacără): Această metodă este utilizată pentru analiza metalelor prezente în concentrații mai mici. Mostrele de probă sunt evaporate și atomizate într-un cuptor de grafit, unde absorbția atomilor metalici este măsurată. Acest proces este mai sensibil și permite detectarea metalelor în concentrații mai mici decât absorbția în flacără. Această metodă a fost utilizată pentru determinarea în probele de apă a metalelor: cu adaos de modificador de matrice 1 (5 µg Pd + 3 µg Mg(NO<sub>3</sub>) - As, Se, Cu, Mn, cu adaos de modificador de matrice 2 (50 µg NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + 3 µg Mg(NO<sub>3</sub>) - Cd, Pb; cu adaos de modificador de matrice 3 (15 µg Mg(NO<sub>3</sub>) - Cr și fără modificador de matrice - Cr.

c) Generarea de vapori reci și hidruri: Pentru metalele care formează compuși volatili sau hidruri, această metodă implică generarea de vapori sau hidruri în condiții controlate, urmată de măsurarea absorbției acestora. Această tehnică a fost utilizată pentru analiza metalelor precum mercurul (Hg), care pot fi dificil de detectat în alte condiții. Determinarea Hg a constat în reducerea speciilor de mercur prin generarea mercurului elementar, care reacționează cu borhidrura de sodiu (NaBH<sub>4</sub>) de 0,2% (m/v) în 0,05% (m/v) NaOH, formând vapori de hidrură de mercur. Acesta este

descompusă și atomizată într-o celulă de cuarț la 100°C. În calitate de gaz purtător a fost utilizat argonul.

#### 2.4. Caracteristica cărbunilor activi utilizați în experimente

Pentru testarea metodelor adsorbționale de remediere la scară de laborator, au fost utilizate 3 tipuri de cărbune activat: CA – cărbune activat obținut din lemn de măr, obținut de SRL „Ecosorbent”, Republica Moldova; BAU-MF – cărbune activat obținut din cărbune din lemn; AKU – cărbune activat din sămburi de caise, obținut de la AO Neorganica, Federația Rusă. Parametrii acestora sunt prezentați în Tabelul 2.1.

**Tabelul 2.1. Indicii de calitate ai cărbunilor activi utilizați.**

| Parametru/Tip de CA                            | CA          | BAU-MF          | AKU              |
|------------------------------------------------|-------------|-----------------|------------------|
| Materia primă                                  | Lemn de măr | Cărbune de lemn | Sămburi de caise |
| Cenușa, %                                      | 0,52        | 10              | 3,5              |
| Umiditatea, %                                  | 15,4        | 6,3             | 3,8              |
| Indicele albastru de metilen, mg/g             | 120         | 210             | 290              |
| Indicele de iod                                | 842 mg/g    | 70 %            | 110%             |
| Suprafața specifică (BET), m <sup>2</sup> /g   | 771         | 800-900         | 700              |
| Volumul sorbtiv al porilor, cm <sup>3</sup> /g | 0,414       | 1,8             | 0,89             |
| Volumul microporilor, cm <sup>3</sup> /g       | 0,264       | 0,32            | 0,61             |
| Densitate, g/dm <sup>3</sup>                   | n/a         | 250             | 390              |

#### 2.5. Metodologia experimentală de remediere a solului

Pentru remedierea solurilor poluate, s-au testat metode de adsorbție utilizând cărbune activ și compost, iar impactul poluării asupra biodiversității solului a fost evaluat în baza solului prelevat din Slobozia-Dușca, Criuleni, în colaborare cu Institutul de Microbiologie al Universității Tehnice din Moldova.

Pentru remedierea solurilor puternic contaminate a fost utilizată o variantă optimizată a metodei DARAMEND [34], recunoscută la nivel global pentru eficiența sa în remedierea solurilor poluate. Procesul de remediere utilizează fier reciclat și subproduse agricole. Pentru tratarea solurilor poluate, adaosul a fost preparat în compoziția descrisă în Tabelul 2.2.

**Tabelul 2.2. Compoziția adaosului utilizat**

| Component                          | Adaos 1 (Ad1)                                        | Adaos 2 (Ad2)                           |
|------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Fier                               | 40% zgură (pilitură metalică de diferite dimensiuni) | 40% pulbere (fracția 0,2 – 0,5 mm [35]) |
| Așchii de lemn                     | 50%                                                  | 50%                                     |
| Compost (gunoi de grajd fermentat) | 10%                                                  | 10%                                     |

Solul poluat din lotul Slobozia Dușca 01, cu concentrația inițială a compușilor POPs de 500–650 mg/kg, a fost omogenizat și utilizat pentru procedura de tratare cu adaosul pregătit. Au fost realizate 10 modele (variante) de experiment și o probă martor (blank). Două variante și blank au

fost realizate în trei replici. Opt variante - în două replici. Pentru analiza condițiilor microbiologice a experimentului elaborat au fost lansate un model martor și 10 modele incubaționale fără sau cu aplicarea adaosului (în doze diferite) sau a cărbunelui activat, divizat în două compartimente:

**Modelele incubaționale cu/fără adaos sau cărbune activat:** a presupus cicluri cu alternarea condițiilor aerobe și anaerobe. Condițiile anaerobe erau create prin saturarea solului poluat cu apă (80-90% CMUM), în vase acoperite cu peliculă, la întuneric și temperatura 30-35°C. Durata fazei anaerobe – 14 zile, fazei aerobe – 7 zile. La începutul fiecărei faze aerobe pelicula era înlăturată, solul afânat cu spatula de metal și lăsat la uscat până la 60%-80% CMUM (Tabelul 2.3).

**Tabelul 2.3. Condițiile de desfășurare a experimentului [36]**

| Variante experimentale | Umiditatea solului (% CMUC) | Amestecare periodică | Adaos  | Cărbune activat | Număr de cicluri |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|--------|-----------------|------------------|
| Experiment 1           |                             |                      |        |                 |                  |
| 0 (Blank)              | 60                          | -                    | -      | -               | 8                |
| Experiment 2           |                             |                      |        |                 |                  |
| 1                      | 80/60                       | -/+                  | 3 Ad1  | -               | 8                |
| 2                      | 80/60                       | -/+                  | 6 Ad1  | -               | 8                |
| 3                      | 80/60                       | -/+                  | 6 Ad2  | -               | 4                |
| 4                      | 80/60                       | -/+                  | 12 Ad2 | -               | 4                |
| 5                      | 80/60                       | -/+                  | -      | AKU             | 3                |
| 6                      | 80/60                       | -/+                  | 6 Ad2  | AKU             | 3                |
| 7                      | 80/60                       | -/+                  | -      | BAU-MF          | 3                |
| 8                      | 80/60                       | -/+                  | 6 Ad2  | BAU-MF          | 3                |
| 9                      | 80/60                       | -/+                  | -      | CA              | 3                |
| 10                     | 80/60                       | -/+                  | 6 Ad2  | CA              | 3                |

## 2.6. Schema experimentală pentru remedierea apelor naturale

În acest studiu, pectinele comerciale de mere și amestec de pectine de mere și sfeclă pentru zahăr, intacte și oxidate, au fost utilizate ca sorbenți pentru eliminarea ionilor de mercur și plumb din soluții apoase. Sursa ionilor de mercur a fost sarea  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , iar pentru plumb s-a utilizat  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Experimentele au fost realizate prin adăugarea a 50 mg de pectină la 50 mL soluție de  $\text{Hg}^{2+}$  de concentrație cunoscută în baloane conice de 100 mL, și 100 mg de pectină la 50 mL soluție de  $\text{Pb}^{2+}$ , urmate de agitare timp de 6 ore într-un agitator electro-mecanic. După acest interval, faza solidă a fost separată prin filtrare folosind hârtie de filtru cu bandă albastră, iar concentrația de echilibru a ionilor de mercur a fost determinată prin spectroscopie de absorbție atomică (generare de vapori reci și hidruri), iar a ionilor de  $\text{Pb}^{2+}$  a fost măsurată prin spectroscopie de absorbție atomică, utilizând atomizare electrotermică.

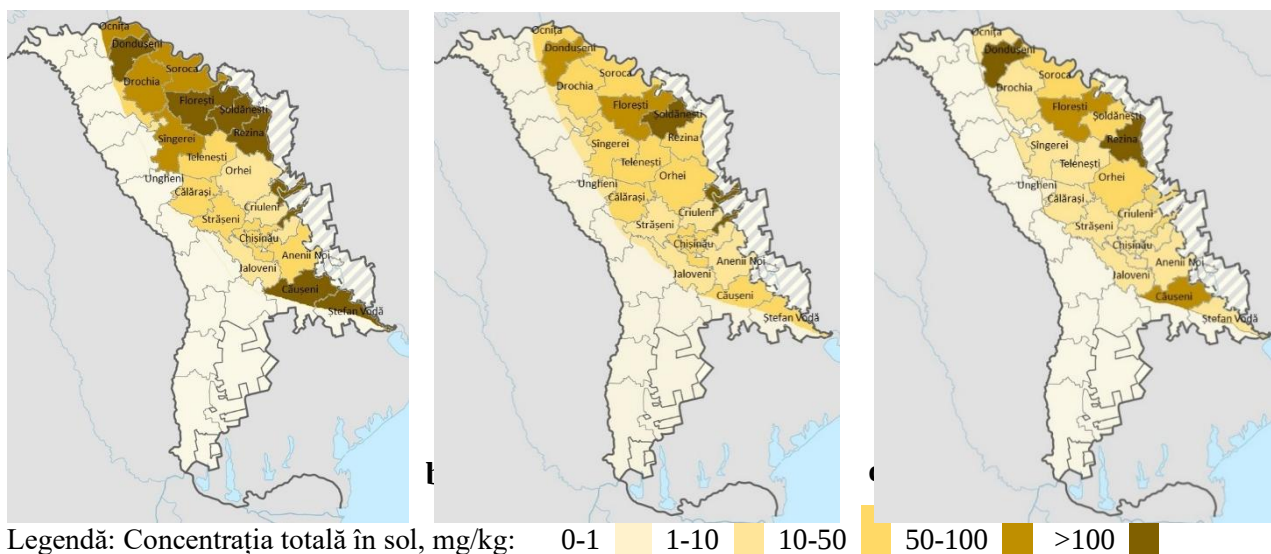
### 3. GRADUL DE POLUARE AL SOLURILOR ȘI APELOR NATURALE

Capitolul 3 al tezei analizează nivelul de poluare al solurilor și apelor naturale din districtul bazinului hidrografic Nistru (DBH Nistru), evidențiind prezența poluanților organici persistenți (POP)s și a metalelor grele. Studiul a fost realizat prin colectarea și analiza probelor de sol și apă, evaluând distribuția acestora în raport cu sursele de poluare și impactul asupra ecosistemelor.

#### 3.1. Poluarea solurilor în DHB Nistru

În districtul bazinului hidrografic Nistru, terenurile sunt utilizate în proporție de 76% pentru agricultură și doar 9% sunt ocupate de păduri, ceea ce creează presiuni semnificative asupra mediului și duce la degradarea solului și modificarea ecosistemelor naturale [2].

Un factor major de poluare îl constituie poluanții organici persistenți (POP), care au fost identificați în 794 de eșantioane de sol din preajma fostelor depozite de pesticide din 26 de raioane. Principalii compuși detectați includ DDT și derivații săi, HCH, clordan, toxafen, aldrina și dieldrina. Concentrațiile totale de POPs au variat între 1,91 și 6549,9 mg/kg, cele mai ridicate niveluri ale concentrației medii fiind înregistrate în Dondușeni (444,1 mg/kg) și Șoldănești (417,9 mg/kg) (Figura 3.1).

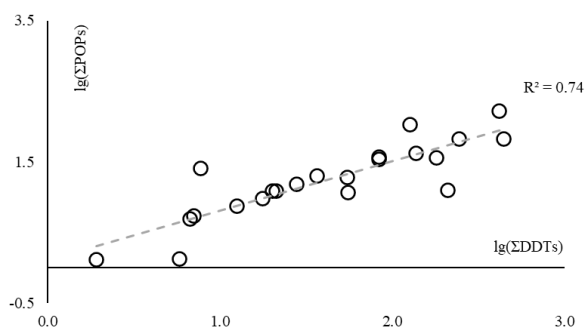


**Fig. 3.1. Distribuția concentrațiilor totale medii a) POPs-urilor, b) ΣDDTs și c) ΣHCH și în districtul bazinului hidrografic Nistru (hăți elaborate de autor)**

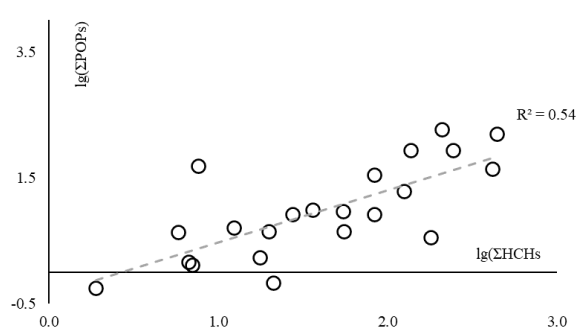
Analiza distribuției DDT și HCH arată că valorile depășesc de câteva ordine de mărime limitele maxime admisibile (0,1 mg/kg), indicând o poluare severă a solurilor. Concentrațiile ridicate sunt rezultatul utilizării istorice intense a pesticidelor și a persistenței acestora în mediu (Figurile 3.2-3.4).

Există două motive posibile care ar putea explica concentrațiile mari de ΣDDT în probele de sol în comparație cu concentrația de ΣHCH. Prima posibilitate este că HCH-urile au proprietăți lipofile mai puțin pronunțate, o volatilitate mai mare și o solubilitate în apă mai mare decât compușii grupului DDT [37], astfel ar putea fi transferate mai ușor de la punctul sursă spre terenurile agricole și apele de suprafață din apropiere prin scurgerile de suprafață. Pe de altă parte,

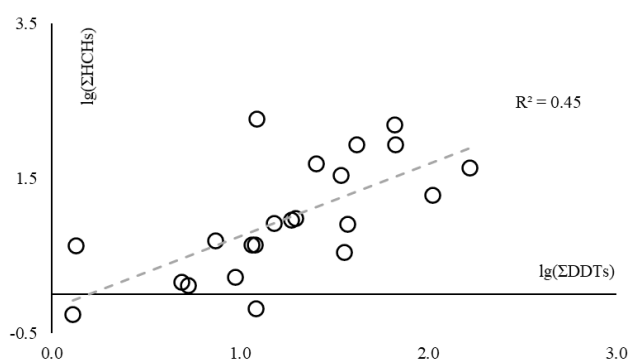
se poate datora utilizării lor diferite și a cantității stocate în perioada sovietică (în perioada 1960-1980). După Li et al. [38], pe teritoriul Republicii Moldova au fost utilizate cca 200 tone de  $\gamma$ -HCH, variind de la 13 la 305 tone în perioada din 1960 până în 1990. Aceiași autori, au estimat utilizarea de compuși din grupul de DDT ca fiind de 500 până la 1000 de tone în aceeași perioadă.



**Fig. 3.2. Relația dintre logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ DDTs și logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ POPs în probele de sol studiate**



**Fig. 3.3. Relația dintre logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ HCHs și logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ POPs în probele de sol studiate**



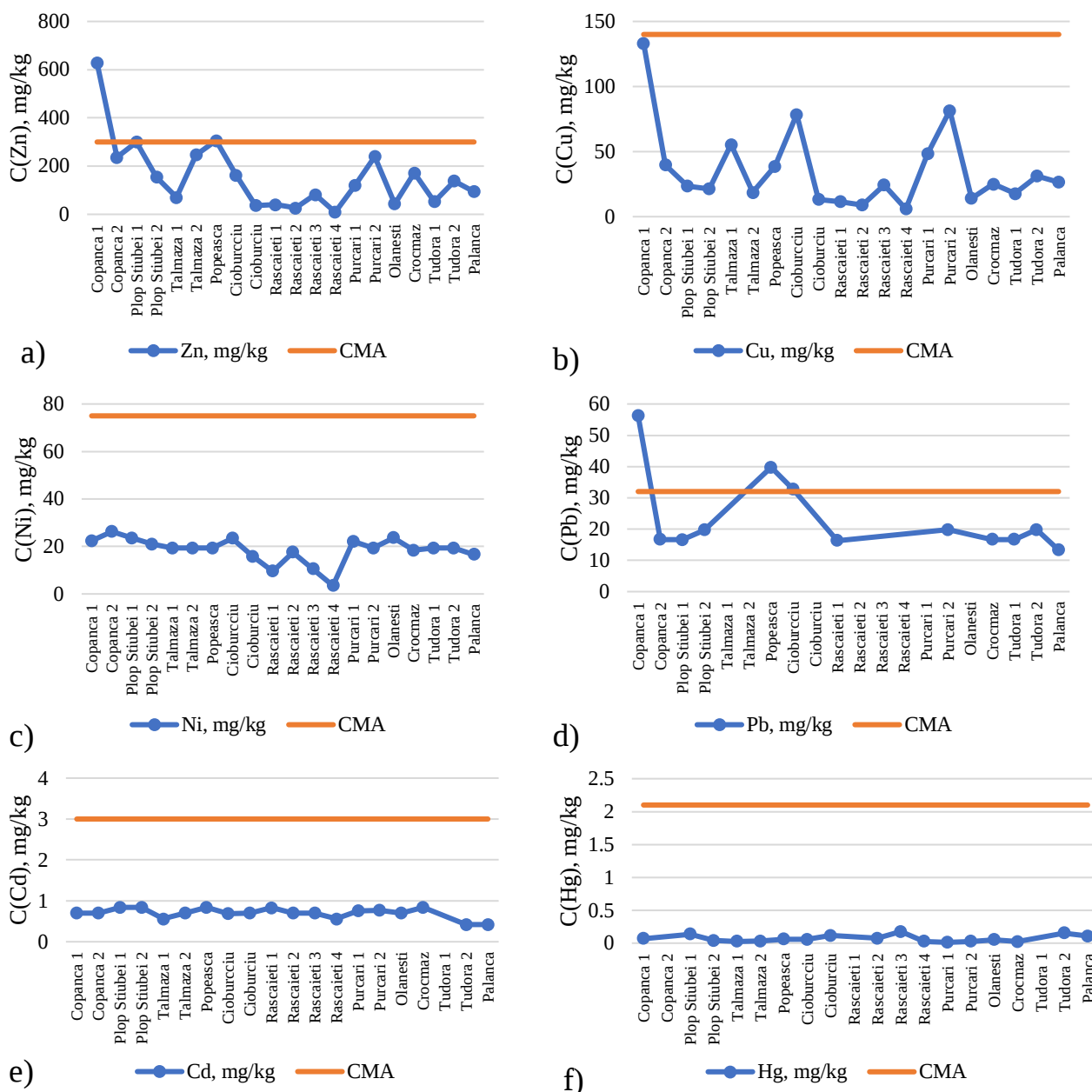
**Fig. 3.4. Relația dintre logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ DDTs și logaritmul zecimal al concentrației  $\Sigma$ HCHs în probele de sol studiate**

Analiza datelor a identificat că în cazul Cu, Zn și Pb au fost observate depășiri ale CMA pentru sol: de 1,05-1,95 ori pentru Cu (în 2 cazuri), de 1,1-2,1 ori pentru Zn (în 3 cazuri) și de 1,2-1,8 ori pentru Pb (în 2 cazuri, CMA=300 mg/kg)). Astfel, per general, nu este observat un nivel înalt de poluare a solurilor cu metale.

În cazul evaluării indicelui de poluare  $I_p$  [39], valoarea acestuia mai mică decât 1 indică concentrația medie a metalelor mai mică decât valorile de referință, conform legislației naționale, iar o valoare a indicelui de poluare  $>1$ , demonstrează că, în mediu, concentrația metalelor este mai mare decât CMA. În aproape toate locațiile evaluate,  $I_p$  are valori mai mici decât 1, cu excepția uneia, pentru care  $I_p=1,01$ , ceea ce demonstrează concentrații mai mici decât CMA pentru metalele analizate. Comparând concentrațiile medii ale metalelor analizate putem identifica următorul șir: Fe  $>$  Mn  $>$  Zn  $>$  Cu  $>$  Pb  $>$  Ni  $>$  Cd  $>$  Hg, deci concentrația de Fe este cea mai mare și cea de Hg cea mai mică.

În zona Ramsar „Nistrul de Jos” a fost studiat mai detaliat nivelul de poluare cu metalele Cu, Zn, Pb, Cd, Ni și Hg (Fig. 3.5). Acest teritoriu are statut oficial de zonă internațională Ramsar, și cuprinde teritorii de zone umede de importanță nu doar națională, dar și internațională [40].

În probele prelevate din această zonă au fost identificate 1 caz de depășire a CMA a zincului și 2 cazuri de depășire a CMA a plumbului (Figura 3.5). Pentru celelalte metale nu au fost identificată depășirea limitei admise de metale pentru soluri agricole [41] (Figura 3.5). La fel se observă o tendință de micșorare a concentrației metalelor pe direcția curului fluviului Nistru.



**Fig. 3.5. Concentrația metalelor: a) Zn, b) Cu, c) Ni, d) Pb, e) Cd și f) Hg în probele prelevate din zona Ramsar „Nistrul de Jos”**

### 3.2. Poluarea apelor naturale

În cadrul studiului, s-au prelevat probe de apă din 17 sonde și au fost analizați parametri chimici generali ai apei, precum și pesticide și metale grele. Rezultatele arată că în apele subterane nu au fost detectate concentrații semnificative de POPs, dar s-au înregistrat depășiri ale limitelor admise pentru cloruri, și nitrați, în special în localitățile Coșnița și Puhăcenii. Această contaminare poate fi atribuită aplicării intensive a îngrășămintelor chimice în agricultură. Metalele grele analizate în probele de apă au inclus Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni și Hg. Unica depășire a concentrațiilor maxime admise a fost înregistrată pentru cadmiu într-o probă. De asemenea, a fost observată o variație a concentrației metalelor în funcție de direcția de curgere a fluviului Nistru, cu niveluri mai ridicate în regiunile industrializate.

### 3.3. Studiul efectului temporal asupra nivelului de poluare cu POPs

Analiza modificărilor în timp ale concentrației poluanților organici persistenți (POPs) în districtul bazinului hidrografic Nistru a evidențiat persistența acestora în sol, chiar și după măsuri de evacuare a substanțelor chimice. Compararea datelor din 2010 și 2020 a demonstrat că nivelurile de DDT și HCH rămân semnificativ ridicate, depășind valorile de fond caracteristice mediului (Fig. 3.6). Această persistență indică existența unor surse istorice de poluare și o degradare lentă a compușilor, cu transformarea DDT în produsele sale secundare, DDE și DDD. În 71% dintre probele de sol analizate, reziduurile DDT au fost detectate în concentrații care sugerează sursa de poluare istorică. De asemenea, analiza izomerilor HCH a arătat că  $\beta$ -HCH este predominant, indicând stabilitatea și persistența sa ridicată în mediu.

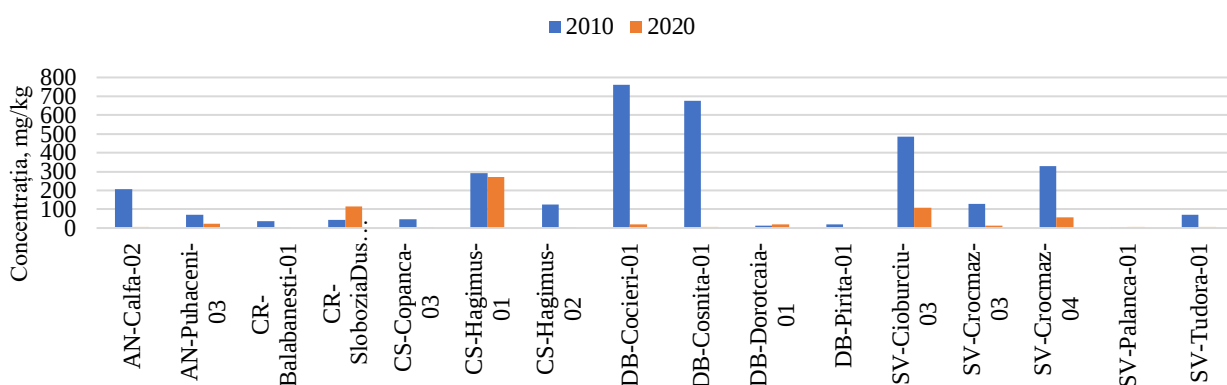
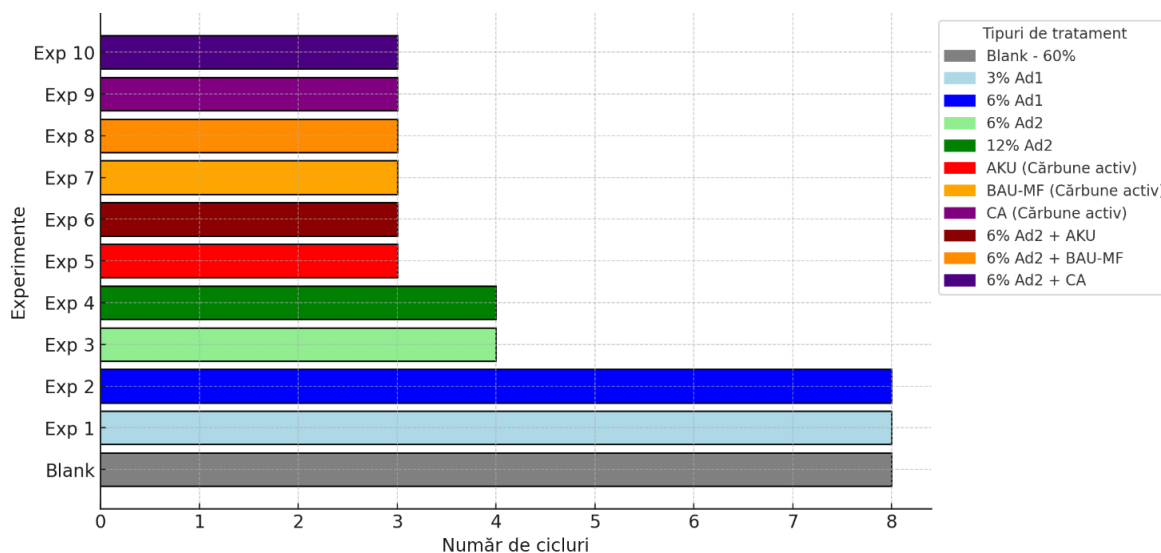


Fig. 3.6. Variația concentrației POPs (2010 vs 2020) [42]

În ceea ce privește distribuția poluanților, s-a constatat că terenurile rămân poluate chiar și după îndepărtarea pesticidelor învechite, ceea ce argumentează necesitatea efectuării măsurărilor suplimentare de remediere pe aceste soluri. Corelarea dintre concentrațiile de  $\Sigma$ DDTs și  $\Sigma$ HCHs indică o posibilă sursă comună și un comportament similar de dispersie în mediu. Deși modificările concentrațiilor POPs pe parcursul a 10 ani au fost observate, riscul chimic asociat acestor substanțe rămâne ridicat, impunând necesitatea unei abordări personalizate pentru fiecare locație afectată.

#### 4. UTILIZAREA SORBENȚILOR PENTRU REMEDIEREA SOLURILOR ȘI APELOR NATURALE

Capitolul 4 cuprinde cercetări privind utilizarea metodelor adsorbționale pentru remedierea poluării solurilor și apelor naturale, cu accent pe aplicarea sorbenților în eliminarea poluanților organici persistenți (POPs) și a metalelor grele. Studiul a evaluat eficacitatea diferitor materiale adsorbționale și a analizat impactul acestora asupra microbiotei solului.



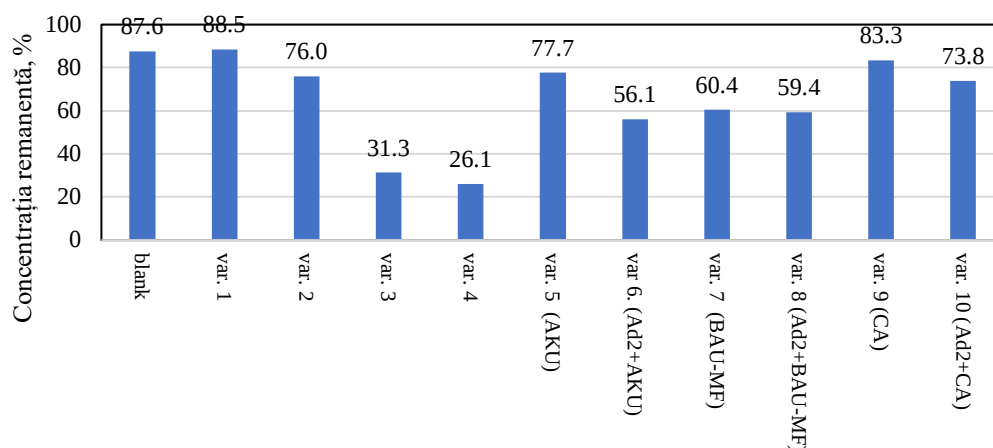
**Fig. 4.1. Schema experimentală utilizată în studiu**

##### 4.1. Utilizarea sorbenților pentru remedierea solurilor

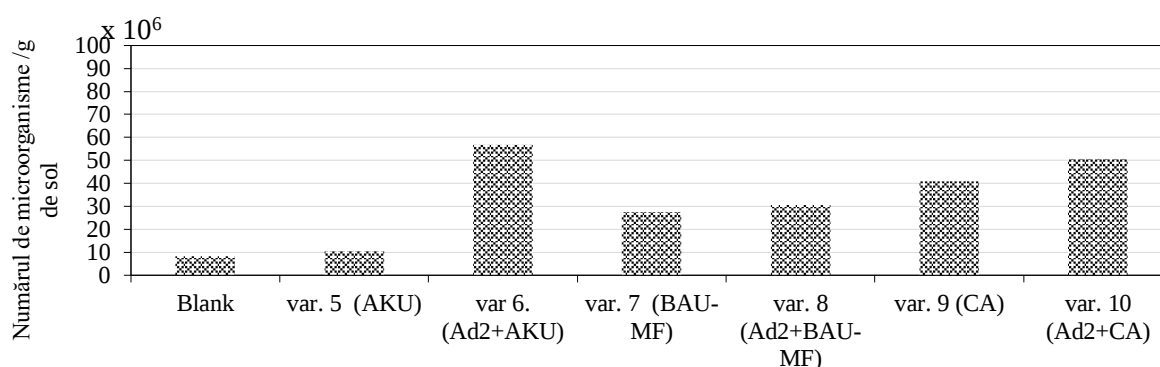
Metodele investigate includ utilizarea cărbunelui activat, a pulberii de fier și a compostului, într-o variantă modificată a metodei Daramend [34]. Studiul a demonstrat că introducerea unui adaos de 6% (v/v) în solul contaminat determină o reducere de 69% a concentrației POPs. O doză dublă nu aduce o îmbunătățire semnificativă (73%), sugerând o limită optimă a eficacității tratamentului.

Utilizând diferite compoziții de adaos și adăugarea cărbunelui activat, s-a observat o reducere notabilă a concentrației POP-urilor. În particular, varianta 6 și 8, a demonstrat cea mai mare eficacitate în reducerea concentrației de POP-uri, ajungând la o diminuare de până la 44% după trei cicluri de tratament. În cazul tratamentului combinat de cărbune activat și adaos Ad2, reducerea concentrației poluanților de tip POPs este de 26% - 44%, cărbunii activați AKU și BAU-MF demonstrând rezultate similare (Figura 4.2). Această constatare subliniază potențialul cărbunelui activat ca agent de remediere eficient pentru solurile contaminate cu POP-uri.

În cazul introducerii doar a cărbunelui activat în sol, se observă o reducere a concentrației de poluant de 16%-40% după 3 cicluri de tratament, cea mai bună rată de înlăturare a poluanților demonstrând-o cărbunele activat BAU-MF.



**Fig. 4.2. Ponderea concentrației remanente în modelele analizate**



**Fig. 4.3. Numărul total de microorganisme pe variante de sol, UFC x 10<sup>6</sup> pe 1 gram de sol, 3 cicluri de remediere**

Cărbunele activat a fost identificat ca un agent de remediere eficient, având o capacitate ridicată de adsorbție a poluanților organici și reducând mobilitatea acestora în sol. În plus, studiul a arătat că aplicarea acestor metode nu afectează negativ microbiota solului, ci, dimpotrivă, contribuie la creșterea numărului de microorganisme benefice, cum sunt micromicetele (Figura. 4.3).

#### **4.2. Costurile de utilizare a metodei de remediere a solului cu utilizarea cărbunelui activat**

Costul total de remediere a unui teren poluat cu pesticide este determinat de mai mulți factori, incluzând achiziția cărbunelui activat, energia consumată, manopera și alte cheltuieli directe. Studiul prezintă un model de calcul pentru remedierea unei suprafețe de 100 m<sup>2</sup> cu o adâncime de 20 cm, rezultând următoarele costuri:

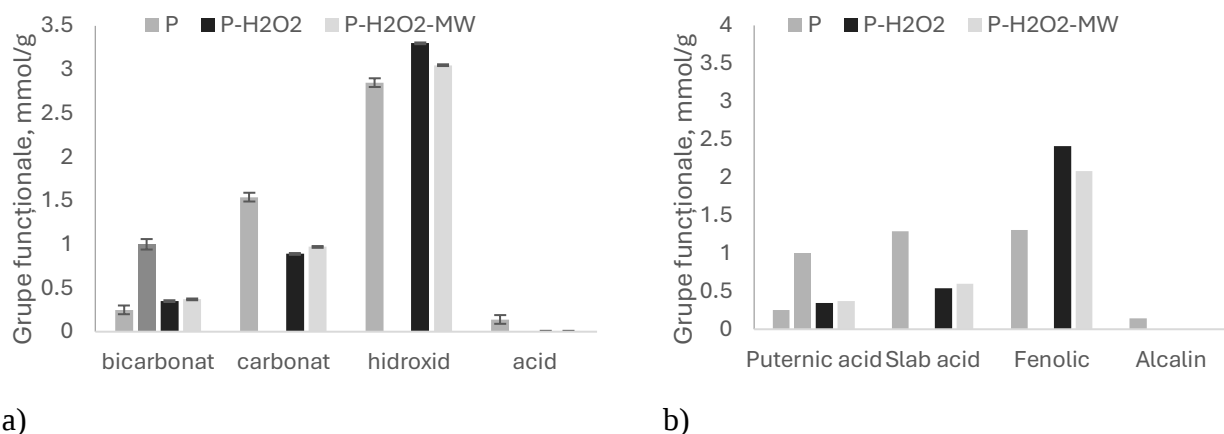
1. Achiziția cărbunelui activat: 260 kg necesari, la un preț de 60 lei/kg, în total 15 600 lei.
2. Energie consumată: Necesitatea utilizării tehnicii agricole este limitată din cauza terenurilor contaminate fragmentate, ceea ce face ca dispersarea manuală să fie mai eficientă.
3. Manoperă directă: Se estimează 80 ore de muncă la un tarif de 29,58 lei/oră, rezultând un cost total de 2.366,4 lei.

4. Alte cheltuieli directe: Acoperind transportul, testarea solului și alte materiale necesare, acestea sunt estimate la 30% din costul materialelor, echivalând cu 4 680 lei.

Astfel, costul total al remedierii unei suprafețe de 100 m<sup>2</sup> este de 22 646,4 lei. Pe suprafețe mai mari, costul per metru pătrat va scădea datorită economiilor de scară, cu variații minime în costurile logistice și administrative.

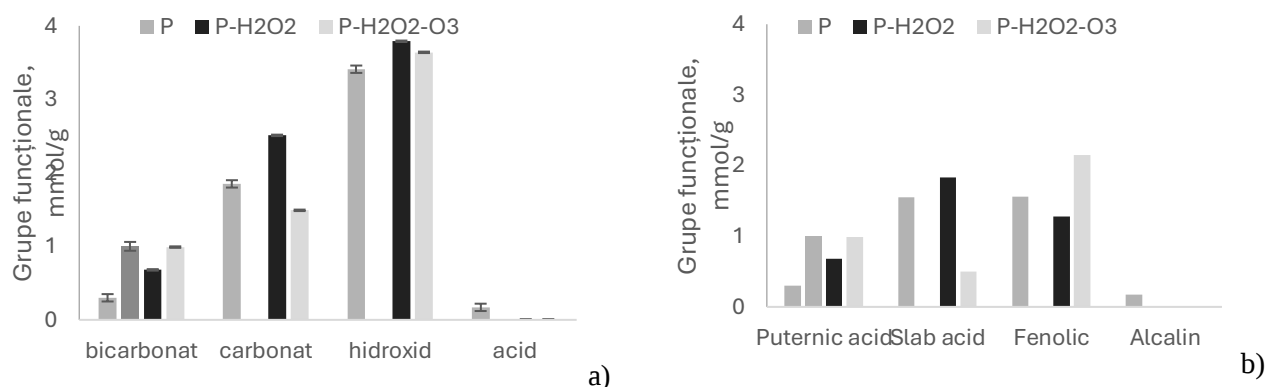
#### 4.3. Remedierea apelor naturale utilizând sorbenți

Pentru remedierea apelor naturale, au fost testate diverse materiale adsorbționale, incluzând pectine oxidate. Pectina oxidată a prezentat o capacitate de adsorbție superioară față de variantele intacte, datorită creșterii numărului de grupuri funcționale active (Figurile 4.3, 4.4). Studiul a arătat că pectina modificată poate elimina eficient metalele grele din apă, oferind o alternativă ecologică și sustenabilă pentru tratarea apelor contaminate.



**Fig. 4.3. Concentrațiile grupelor funcționale ale pectinelor :a) cantitatea grupelor funcționale și b) calitatea grupurilor funcționale, pentru amestec de pectine (măr și sfeclă) diferite: P- pectină intactă, P- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Pectină oxidată cu peroxid de hidrogen, P-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MW - Pectină oxidată în H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrat și microunde**

Analiza experimentelor a demonstrat că utilizarea pectinelor ca sorbenți permite reducerea semnificativă a concentrației metalelor grele, cum ar fi plumbul și mercurul, contribuind la îmbunătățirea calității apelor naturale. Aceste rezultate indică faptul că modificarea chimică a pectinei îmbunătățește procesul de adsorbție și reține poluanții cu eficiență crescută.



**Fig. 4.4. Concentrațiile grupelor funcționale ale pectinelor :a) cantitatea grupelor funcționale și b) calitatea grupurilor funcționale, pentru pectină de măr: P- pectină de măr intactă, P- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Pectină**

#### de măr oxidată cu peroxid de hidrogen, P-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>-pectină oxidată cu ozon în H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrat

Pectinele oxidate prezintă un potențial ridicat de adsorbție a ionilor de metale grele, precum Pb<sup>2+</sup> și Hg<sup>2+</sup>. Modificările chimice ale pectinelor prin oxidare cu peroxid de hidrogen sau ozon cresc numărul grupărilor funcționale acide, sporind capacitatea de imobilizare a metalelor. Valorile adsorbției ionilor de plumb pe pectine de măr au fost comparate cu valorile concentrațiilor grupărilor funcționale puternic acide, care se conțin în pectinele intacte și oxidate. În rezultatul acestor comparații putem concluziona ca aceste valori sunt practic egale pentru pectina intactă și pentru pectina oxidată cu ozon în apă. În cazul pectinei oxidată cu peroxid de hidrogen concentrat valoarea adsorbției constituie 81%, iar în cazul pectinei oxidate cu ozon în peroxid de hidrogen concentrat acest raport constituie 82%. În concluzie se poate afirma că imobilizarea metalelor radioactive și cele grele din soluții biologice se realizează prin schimb ionic între ionul de hidrogen din grupa funcțională puternic acidă cu ionul al metalului radioactiv și a celor grele.

**Tabelul 4.1. Valoarea adsorbției ionilor de Pb<sup>2+</sup> și Hg<sup>2+</sup> pe pectinele studiate**

| Tip pectină                               | Valoarea adsorbției pentru ionii de Pb <sup>2+</sup> , mg-echiv/g | Valoarea adsorbției pentru ionii de Hg <sup>2+</sup> , mg-echiv/g |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Intactă                                   | 0,27                                                              | 0,65                                                              |
| Oxidată cu ozon în apă                    | 0,29                                                              | 0,73                                                              |
| Oxidată cu peroxid de hidrogen concentrat | 0,55                                                              | 0,83                                                              |
| Oxidată cu ozon în peroxid de hidrogen    | 0,81                                                              | 1,18                                                              |

Diferențele adsorbției ionilor de mercur față de cei de plumb (Tabelul 4.1) pot fi explicate prin raza Van der Waals mai mică a ionului Hg<sup>2+</sup> (155 pm față de 202 pm pentru Pb<sup>2+</sup>), permițând pătrunderea în pori mai mici și schimbul de ioni cu grupuri slab acide sau fenolice.

Rezumând datele obținute putem concluziona că oxidarea pectinelor este însoțită de fragmentarea moleculelor polimerice conducând la crearea de produse cu molecule mai mici și cu grupări funcționale acide suplimentare. Deci, utilizând procedeul de oxidare a pectinelor cu ozon în peroxid de hidrogen concentrat putem spori procedeul de mărire a capacității de schimb ionic al pectinelor.

## CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI GENERALE

Lucrarea abordează complexitatea și gravitatea poluării în districtul bazinului hidrografic Nistru, evaluând nivelul de poluare cu substanțe organice persistente și metale grele și investigând eficacitatea metodelor sorbționale de remediere.

### Concluzii:

1. Determinarea nivelului concentrațiilor de POPs-uri în probe de sol din siturile poluate istoric cu POPs din DBH Nistru, au demonstrat prezența acestora în toate probele analizate, cu valori medii ale concentrației totale a compușilor POPs ( $\Sigma$ POPs) în intervalul 1,91 - 444,08 mg/kg, acestea depășind normativele naționale de 19 până la 4440 ori. În 71% din probele de sol analizate, poluarea cu DDT este istorică, indicând faptul că reziduurile DDT s-au transformat semnificativ în produsele lor de degradare în aceste zone. De asemenea s-a confirmat că în majoritatea raioanelor din regiunea studiată (raioanele Călărași, Chișinău, Dondușeni, Drochia, Dubăsari, Fălești, Ocnîța, Orhei, Rîșcani, Șoldănești, Ștefan-Vodă, Strășeni, Telenești, Ungheni), sursa de poluare cu HCH o reprezintă utilizarea în trecut a HCH tehnic (ponderea probelor în care raportul izomerilor  $\beta/(\alpha+\gamma)>1$  este mai mare de 50%). Datele obținute contribuie la completarea bazelor de date de mediu naționale (capitolul 3, subcapitolul 3.1).

2. Analiza concentrațiilor de metale în sol a demonstrat că în aproape toate locațiile evaluate, Indicele de poluare,  $I_p$ , are valori mai mici decât 1, cu excepția uneia, pentru care  $I_p=1,01$ . Acest lucru demonstrează concentrații mai mici decât CMA pentru metalele analizate. Comparând concentrațiile medii ale metalelor analizate putem identifica următorul șir:  $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd > Hg$ , deci concentrația de Fe este cea mai mare și cea de Hg cea mai mică, ceea ce se explică prin răspândirea naturală a fierului în mediul natural, și lipsa mercurului în probele de sol (lipsa poluării antropice) (capitolul 3, subcapitolul 3.1).

3. Pentru prima dată a fost efectuată analiza modificărilor în timp a concentrației de POPs în câteva situri din regiunea de studiu, fiind comparate datele dintre probele analizate în 2010 și 2020, care a demonstrat concentrații ale POPs (în special din grupul DDT și HCH) mai mari decât concentrațiile de fond caracteristice mediului. Siturile studiate rămân încă poluate după îndepărtarea și evacuarea pesticidelor învechite, indicând surse vechi de poluare cu DDT, dar și faptul că reziduurile de DDT au fost transformate semnificativ în produsele lor de degradare din aceste zone. Chiar dacă în 10 ani au fost observate modificări în concentrațiile acestor poluanți, riscul asupra mediului înconjurător rămâne a fi unul înalt. Solurile cu nivel înalt de poluare necesită remediere, iar fiecare sit necesită o abordare individuală (capitolul 3, subcapitolul 3.2).

4. Evaluarea nivelului de POPs-uri în apele naturale (în mare parte surse de apă subterană) din DBH Nistru a demonstrat concentrația acestora sub limita de detecție a echipamentului utilizat, iar în cazul metalelor- a fost identificată o depășire nesemnificativă a CMA pentru cadmiu într-o probă (capitolul 3, subcapitolul 3.3).

5. Este propusă o modificare a metodei Daramend de remediere a solului, prin utilizarea pulberii de fier, rumegușului de lemn și a compostului, precum și introducerea cărbunelui activat în procesul de remediere a solului. Prin introducerea unui adaos de 6% (v/v) în solul poluat, concentrația poluanților POPs se diminuează cu până 69%. Totodată, introducerea unei doze mai mari de 2 ori, nu contribuie semnificativ la reducerea conținutului de poluanți (73%). Prin utilizarea unei combinații de adaos și cărbune activat, se atinge o diminuare a concentrației de poluanți de până la 44%, fapt ce subliniază potențialul cărbunelui activat ca agent de remediere eficient pentru solurile contaminate cu POPs-uri. Utilizarea adaosurilor cu conținut de fier și componentă organică, precum și introducerea cărbunelui activat în solul poluat nu influențează negativ microbiota din sol, dimpotrivă, contribuie la mărirea numărului de microorganisme, cum sunt micromicetele (capitolul 4, subcapitolul 4.1 și 4.2).

6. Utilizarea pectinelor în calitate de sorbenți pentru remedierea apelor contaminate s-a dovedit eficientă, în special în eliminarea metalelor grele. Studiul a arătat că pectina oxidată prezintă o capacitate de adsorbție îmbunătățită datorită creșterii grupelor funcționale active, sporind retenția poluanților. Rezultatele confirmă că modificarea pectinei optimizează procesul de remediere, oferind o alternativă sustenabilă și biodegradabilă în condiții naturale.

#### **Recomandări:**

1. Se recomandă aplicarea metodei de remediere cu introducerea cărbunelui activat și a adaosului Ad2, în special în zonele cu poluare istorică severă, în amplasamentul Slobozia-Dușca și alte situri poluate cu același nivel de contaminare, pentru reducerea riscului ecotoxic și refacerea calității solurilor. Se vor lua în considerare specificul local și condițiile de sol. Este crucială monitorizarea continuă a eficacității tratamentelor și ajustarea compozițiilor de amendamente pentru maximizarea rezultatelor.

2. Persistența POPs-urilor în sol chiar și după îndepărtarea pesticidelor învechite, demonstrează necesitatea implementării unui sistem de monitorizare pe termen lung al zonelor afectate, prin prelevări periodice și analize detaliate ale concentrațiilor poluanților din categoria POPs și zonele în care a fost demonstrată prezența acestora, pentru a preveni contaminarea secundară și a propune modalități de îmbunătățire.

3. Studiul a evidențiat că pectina oxidată prezintă o capacitate îmbunătățită de adsorbție a metalelor grele, datorită creșterii grupelor funcționale active. Prin urmare, se recomandă promovarea pectinei modificate ca material sustenabil și eficient pentru epurarea apelor, având în vedere accesibilitatea și biodegradabilitatea acestui material.

4. Având în vedere eficiența materialelor sorbționale autohtone în remedierea poluării, se recomandă autoritățile de mediu integrarea acestor tehnologii în strategiile naționale de protecție a mediului, precum și sprijinirea cercetării și aplicării acestor metode prin reglementări clare, stimulente economice și programe de finanțare pentru remedierea zonelor contaminate.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] CARSON, R., Silent Spring [online]. [Citat 17.05.2021]. Disponibil: <https://library.uniteddiversity.coop/More Books and Reports/Silent Spring-Rachel Carson-1962.pdf>
- [2] Hotărâre nr. 814 cu privire la aprobarea Planului de gestionare a districtului bazinului hidrografic Nistru din 17.10.2017. In: *Monitorul Oficial*, nr. 371-382, art. 942. [Citat 26.03.2023]. Disponibil: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=102659&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=102659&lang=ro)
- [3] *Starea mediului în Republica Moldova*. Raport național în baza indicatorilor de mediu 2015-2018. Agenția de Mediu, 2020. [Citat 26.03.2024]. Disponibil: <https://drive.google.com/file/d/1YD6esULO-JNJGhTmN1P8U2Ft228B8hGH/view>
- [4] Legea nr. 272 apelor din 23.12.2011. În: *Monitorul Oficial* nr. 81, art. 64. [Citat 26.03.2023]. Disponibil: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=133228&lang=ro#](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=133228&lang=ro#)
- [5] Raport 2020 Programul de măsuri Planului de gestionare a DBH Nistru. [Citat 07.05.2021]. Disponibil: <https://madrm.gov.md/ro/content/15-planul-de-gestionare-districtului-bazinului-hidrografic-nistru>
- [6] PAYÁPÉREZ, A., PELÁEZ SÁNCHEZ, S. *European achievements in soil remediation and brownfield redevelopment: a report of the European Information and Observation Network's National Reference Centres for Soil (Eionet NRC Soil)*. Joint Research Centre, 2017. 208 p. ISBN 978-92-79-71690-4.
- [7] RODRIGUEZ-EUGENIO, N., MCLAUGHLIN, M., PENNOCK, D. *Soil pollution a hidden reality*. Rome: FAO, 2018. ISBN 978-92-5-130505-8.
- [8] KORJUS, H. Polluted Soils Restoration. In: *Climate Change and Restoration of Degraded Land*, Madrid: Colegia de Ingenieros de Montes, 2014, pp. 411-480. ISBN 9788461713776
- [9] PIDLISNYUK, V., ERIKSON, L., STEFANOVSKA, T., POPELKA, J., HETTIARACHCHI, G., DAVIS, L., TROGL, J. Potential phytomanagement of military polluted sites and biomass production using biofuel crop miscanthus x giganteus. In: *Environ. Pollut.*, 2019, vol. 249, pp. 330–337, ISSN 18736424, doi: 10.1016/j.envpol.2019.03.018. 114
- [10] MARICAN, A., DURÁN-LARA, E. F., A review on pesticide removal through different processes. In: *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2018, vol. 25, no. 3, pp. 2051–2064, ISSN: 16147499, doi: 10.1007/s11356-017-0796-2
- [11] SU, C., JIANG, L., ZHANG, W. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation , impact and remediation techniques. In: *Environmetal Skeptics and Critics*, 2014, vol. 3 (2), pp. 24–38, ISSN 2224-4263
- [12] Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome: FAO and ITPS, 2015, 643 p., ISBN 978-92-5-109004-6.
- [13] PÉREZ, A. P., RODRÍGUEZ, E. N., *Status of local soil contamination in Europe: Revision of the indicator "Progress in the management Contaminated Sites in Europe.*, 2018. doi: 10.2760/093804.
- [14] Contamination from local sources. European Environment Agency. 2020. [Citat: 15.05.2021]. Disponibil: <https://www.eea.europa.eu/themes/soil/soil-threats>
- [15] Hotărâre de Guvern nr. 1001 din 10.12.2014 cu privire la aprobarea Conceptului Sistemului informațional „Registrul solurilor Republicii Moldova”. In: *Monitorul Oficial* Nr. 372-384 art. 1085. [Citat 24.01.2024]. Disponibil: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=145145&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=145145&lang=ro)
- [16] “Portalul soluri.” (Accesat Ian. 20, 2024. Disponibil : <http://soluri.md/adapt/dist/#/layers>
- [17] Guidelines for drinking water quality: forth edition incorporating the first addendum. Geneva: WHO, 2017. 631 p. ISBN 978-92-4-154995-0
- [18] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. In: *Official Journal L* 327, 22/12/2000 P. 0001-0073. [Citat 13.05.2021]. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>

- [19] UN-Water, 2020: Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all. Version: 1 March 2021. Geneva, Switzerland. Disponibil: <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/> .
- [20] Fondul funciar pe categorii de terenuri, la 1 ianuarie, 2001-2023. Biroul Național de Statistică. [Citat 27.03.2023]. Disponibil: [https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/10%20Mediul%20inconjurator/10%20Mediul%20inconjurator\\_MED050/MED050100.px/?rxid=b2ff27d7-0b96-43c9-934b-42e1a2a9a774](https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/10%20Mediul%20inconjurator/10%20Mediul%20inconjurator_MED050/MED050100.px/?rxid=b2ff27d7-0b96-43c9-934b-42e1a2a9a774)
- [21] SPĂTARU, P., SPÎNU, O., SPĂTARU, T., POVAR, I., Analiza surselor de contaminare a mediului ambiant cu pesticide organice halogenate, In: *Akadosmos*, vol. 1, no. 44, pp. 42–47, 2017.
- [22] Anuarul IPM – 2018 „Protecția mediului în Republica Moldova”. Chișinău: Ministerul Agriculturii, Dezvoltării regionale și Mediului, 2018. ISBN 978-9975-72-346-6
- [23] DA PENHA, F., VANEK, R.-J. Removing the threats of obsolete pesticides in Moldova. In: *Contaminated sites*, 12-13 septembrie 2016. Bratislava, Slovacia: Slovak Environment Agency, 2016, pp. 46-49. ISBN 978-80-89503-54-4.
- [24] BOGDEVICH, O., ENE, A., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. The study of POPs contaminated sites in Danube river basin of Republic Moldova for risk assessment and remediation actions. In: *Contaminated sites*, 2016. Bratislava, Slovacia. pp. 64-68. ISBN 978-80-89503-54-4. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/108636](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/108636)
- [25] Supravegherea de Stat a sanatații publice in Republica Moldova. Raport national. Chisinau, Ministerul Sanatații, 2022, 141 p., [Citat: 26.03.2023]. Disponibil: <https://ansp.md/wp-content/uploads/2023/10/RAPORT-ANUAL-activitatea-ANSP-2022-FINAL-16.10.2023.pdf>
- [26] Lead, ToxFAQsTM. ATSDR. 2021 [Citat: 16.05.2021]. Disponibil: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=93&toxid=22> .
- [27] Cadmium, ToxFAQsTM. ATSDR. 2021 [Citat: 16.05.2021]. Disponibil: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=47&toxid=15>
- [28] Mercury, ToxFAQsTM. ATSDR. 2021 [Citat: 16.05.2021]. Disponibil: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=113&toxid=24> .
- [29] DING, Y., LI, L., WANIA, F., HUANG, H., ZHANG, Y., PENG, B., CHEN, Y., QI, S. Do dissipation and transformation of  $\gamma$ -HCH and p,p'-DDT in soil respond to a proxy for climate change? Insights from a field study on the eastern Tibetan Plateau. In: *Environmental Pollution*, 278, 2021, p. 116824, | <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116824>
- [30] US Agency for Toxic Substances and Disease Registry, “Toxicological Profile for DDT, DDE, and DDD,” 2002, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, United States of America. [Citat:16.05.2021]. Disponibil: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=81&tid=20>
- [31] US Agency for Toxic Substances and Disease Registry, “Toxicological Profile for Hexachlorocyclohexane (HCH),” 2024.
- [32] Rîul Nistru. Agenția „Apele Moldovei. 2021 [Citat: 07.05.2021]. Disponibil: <http://www.apemoldovei.gov.md/pageview.php?l=ro&idc=138>
- [33] Dniester Commission. OSCE, 2021. [Citat: 07.05.2021]. Disponibil: <https://dniester-commission.org/ru/bassejn-reki-dnestr/region/er-basin/region/>
- [34] PeroxyChem Evonik: Daramend® Anaerobic Bioremediation Reagent.”. [Citat: 22.01.2024]. Available: <https://environmental.fmc.com/markets/environment/soil-and-groundwater/products/daramend-reagent>
- [35] “Порошок залізний в Запоріжжі від компанії "ТОВ ‘ТВП ‘БОНУСТРЕЙД’””. 2023. [Citat: 27.03.2023]. Disponibil: <https://bonustrade.com.ua/ua/g17152219-poroshok-zheleznyj> .
- [36] POSTOLACHI, O.; RASTIMEȘINA, I., VORONA, V., NICOLAU, E., CULIGHIN, E., BOGDEVICH, O. Dynamics of microbial population in the soil during bioremediation. In: *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*, 2023, 30(2), pp. 180-186, ISSN: 1224-5119,

<https://www.bioresearch.ro/2023-2/180-186-AUOFB.30.2.2023-POSTOLACHI.O.-Dynamics.of.microbial.population.pdf>

[37] ZHANG, F., HE, J., YAO, Y. Spatial and seasonal variations of pesticide contamination in agricultural soils and crops sample from an intensive horticulture area of Hohhot, North-West China. In: *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, 185, p. 6893–6908. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3073-y>

[38] LI, Y., ZHULIDOV, A.V., ROBARTS, R.D. Hexachlorocyclohexane Use in the Former Soviet Union. In: *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2016, 48, p. 10–15. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0047-7>

[39] DARY, M., CHAMBER-PÉREZ, M. A., PALOMARES, A. J., PAJUELO, E. In situ phytostabilisation of heavy metal polluted soils using *Lupinus luteus* inoculated with metal resistant plant-growth promoting rhizobacteria, In: *J Hazard Mater*, vol. 177, no. 1–3, pp. 323–330, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.035

[40] “Nistrul de Jos – Zona Ramsar ‘Nistrul de Jos. [Citat: 15.06.2021]. Disponibil: <https://lower-dniester.org/lower-dniester/>

[41] “Hotărâre de guvern nr. 1157 din 13.10.2008 cu privire la aprobarea Reglementării tehnice “Măsurile de protecție a solului în cadrul practicilor agricole”. In: *Monitorul Oficial*, nr. 193-194, art. 1195. [Citat: 08.05.2021]. Disponibil:

[https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=114245&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=114245&lang=ro)

[42] CULIGHIN, E., BOGDEVICI, O., LUPASCU, T. Changes over time in persistent organic pollutants concentrations in soils in Lower Dniester Region, Republic of Moldova. In: *Ecological chemistry ensures a healthy environment*. 16 septembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Institute of Chemistry, 2022, p. 23. DOI: <https://doi.org/10.19261/enece.2022.ab14>

## LISTA PUBLICAȚIILOR AUTOAREI LA TEMA TEZEI

### 1. Monografii

#### 1.2. monografii colective

1. VASEASHTA, A. K., DUCA, Gh., CULIGHIN, E., BOGDEVICI, O., KHUDAVERDYAN, S., SIDORENKO, A. Chapter 20: Smart and Connected Sensors Network for Water Contamination Monitoring and Situational Awareness. In: *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. 2020, Springer, Dordrecht, pp. 283-296. ISSN 1874-6519. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1909-2\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1909-2_20)

#### 2. Articole în reviste științifice

##### 2.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS

2. POSTOLACHI, O., RASTIMEȘINA, I., VORONA, V., NICOLAU, E., CULIGHIN, E., BOGDEVICH, O. *Dynamics of microbial population in the soil during bioremediation*. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*, 2023, 30(2), pp. 180-186, ISSN: 1224-5119, <https://www.bioresearch.ro/2023-2/180-186-AUOFB.30.2.2023-POSTOLACHI.O.-Dynamics.of.microbial.population.pdf> (IF 0.5).

3. LUPASCU, T., PETUHOV, O., CULIGHIN, E., MITINA, T., RUSU, M., ROTARU, A. The influence of surface chemistry upon the textural, thermal and sorption properties of apple-pectin adsorbent materials. In: *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2023, vol. 148, nr. 10, pp. 4573-4587. ISSN 1388-6150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11465-7>, (IF 5.25)

4. NASTASIUC, L., BOGDEVICH, O., OVERCENCO, A., CULIGHIN, E., SIDORENKO, A., VASEASHTA, A. *Monitoring water contaminants: A case study for the Republic of Moldova*. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016, nr. 1(25), pp. 221-230. ISSN 1230-1485. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/58888>, (IF=0,793)

##### 2.2. în reviste din străinătate recunoscute

5. LUPASCU, T., CIOBANU, M., CULIGHIN, E. *Absorption of methylene blue from aqueous solutions on activated coal CAN-9: kinetics and equilibrium studies*. *Romanian Journal of Ecology and Environment Chemistry*. 2022, 1 (4), pp. 22-28. ISSN 2668-5418. DOI: <https://doi.org/10.21698/rjeec.2022.102>

6. MUKHIN, V., KOROLEOV, N., MEDNYAK, V., LUPASCU, T., **CULIGHIN, E.**, *Preliminary evaluation of the role of activated carbon in soil/water remediation*, RJEEC, 2021, 3 (1), pp. 4-10, ISSN on-line: 2668-8530, DOI: <https://doi.org/10.21698/rjeec.2021.101>

7. ENE, A., PANTELICA, A., ARBANAȘ (MORARU), S. S., PINTILIE, V., SLOATA, F., CAPRITA, F. C., STRATICIUC, M., MIREA, A. D., ȘERBAN, A., STIHI, C., FRONTASYEVA, M., BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.** *Development of analysis methodology using Proton Induced X-ray Emission (PIXE) as a complementary technique to determine trace elements in environmental matrices*, Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, 42(2), 2019, pp. 117-125, DOI: <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2019.2.01>

8. BOGDEVICH, O., ENE, A., CADOCINICOV, O., **CULIGHIN, E.** *The analysis of old pesticides and PAHs pollution sources in low Danube region*, J. of Int. Sc. Publication: Ecology&Safety, 2013, 2(2), pp. 233-243, ISSN 1314-8591 <https://www.scientific-publications.net/download/agriculture-and-food-2013-2.pdf>

### **2.3. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, cu indicarea categoriei**

#### **Articole în reviste de cat. A:**

9. **CULIGHIN, Elena.** *Organochlorine pesticides residues in soil of Soroca district, Republic of Moldova*. Chemistry Journal of Moldova. 2020, nr. 1(15), pp. 41-50. ISSN 1857-1727. DOI: <https://doi.org/10.19261/cjm.2020.672>

### **3. Articole în culegeri științifice**

#### **3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)**

10. LUPASCU, T., BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.** *Remediation of POPs polluted sites in Republic of Moldova*, The Environment and the Industry SIMI 2019 Book of abstracts. Ediția a 22-a, 2019, București, România. pp. 90-97. ISSN 1843-5831. DOI: <https://doi.org/10.21698/simi.2019.fp12>

11. BOGDEVICH, O., ENE, A., CADOCINICOV, O., **CULIGHIN, E.**, NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. *The study of POPs contaminated sites in Danube river basin of Republic Moldova for risk assessment and remediation actions*. Contaminated sites, 2016. Bratislava, Slovacia. pp. 64-68. ISBN 978-80-89503-54-4. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/108636](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/108636)

12. BOGDEVICH O., CADOCINICOV, O., IZMAILOVA, D., **CULIGHIN, E.** *Results of bioremediation experiments for POPs polluted sites (case study: the Republic of Moldova)*, 12<sup>th</sup> International HCH and Pesticides Forum, 06-08.11.2013, Kiev, Ukraine, pp. 51-59

#### **3.4. în lucrările conferințelor științifice naționale**

13. **CULIGHIN, E.** *Study of adsorption of organic pollutants on carbonaceous sorbents*. Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători. Ediția 5, Vol.2. 2016. Chișinău, Republica Moldova. pp. 76-81. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/71275](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/71275)

### **4. Teze în culegeri științifice**

#### **4.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)**

14. BOGDEVICH, O., ENE, A., CADOCINICOV, O., NICOLAU, E., **CULIGHIN, E.**, GRIGORAȘ, M. *The study of PAHs and BTEX pollution spectrum of petrol contaminated site: distribution pattern and risk assessment*. Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health. 2020. Cluj-Napoca, România. pp. 12-13. ISBN 978-606-17-1691-3. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/115827](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/115827)

15. ENE, A., SLOATĂ, F., PANTELICA, A., BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.**, MORARU, D. I., SZABO, G., BAȘLIU, V. *Quantification of heavy metals and trace elements in industrial materials and wastes by combined analytical techniques*. Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health. 2020. Cluj-Napoca, România. p. 17. ISBN 978-606-17-1691-3. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/115834](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/115834)

16. BOGDEVICH, O., ENE, A., NICOARA, I., CADOCINICOV, O., NICOLAU, E., **CULIGHIN, E.**, GRIGORAȘ, M. *Soil contamination and risks for human health in Low Danube Region*. Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health. 2020. Cluj-Napoca, România. p. 19. ISBN 978-606-17-1691-3. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/115836](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/115836)

17. BOGDEVICH, O., ENE, A., NICOARA, I., **CULIGHIN, E.**, CADOCINICOV, O., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. *The analysis of spatial distribution of POPs contaminated sites in Low Danube Region of Republic of Moldova*. In: Environmental Toxicants in Freshwater and

Marine Ecosystems in the Black Sea Basin BSB27-MONITOX. 2020. Kavala, Greece. p. 20. ISBN 978-618-85036-0-1. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/115552](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/115552)

18. BOGDEVICH, O., ENE, A., CADOCHNIKOV, O., JELEAPOV, V., NICOARA, I., NICOLAU, E., CULIGHIN, E., GRIGORAȘ, M. *The study of modern and obsolete pesticides in groundwater of Republic of Moldova*. Environmental Toxicants in Freshwater and Marine Ecosystems in the Black Sea Basin BSB27-MONITOX. 2020. Kavala, Greece. p. 21. ISBN 978-618-85036-0-1. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/115557](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/115557)

19. ENE, A., BOGDEVICH, O., DENG, Y., ZUBCOV, E., SPANOS, T., FRONTASYEVA, M., STIHI, C., PANTELICA, A., TEODOROF, L., BURADA, A., DESPINA, C., MORARU, D. I., CULIGHIN, E., SION, A., BAȘLIU, V., CEOROMILA, A., MORARU, S. S., SLOATĂ, F. *Nuclear and Atomic Techniques Used for the Quantification and Mapping of Heavy Metals and Trace Elements in Soils*. In: MONITOX International Symposium "Deltas and Wetlands". 2019. Tulcea, România. pp. 24-26. ISBN 978-606-8896-00-7. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/98994](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/98994)

20. BOGDEVICH, O., ENE, A., NICOARA, I., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E. *The Characteristic of Sediments Quality of Natural Lakes in Lower Prut Region*. In: MONITOX International Symposium "Deltas and Wetlands". 2019. Tulcea, România. p. 44. ISBN 978-606-8896-00-7. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/99035](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/99035)

21. BOGDEVICH, O., NICOARA, I., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., ISICICO, E., JELEAPOV, V. *The Application of GIS Technology for Environmental Risk Assessment from Toxic Substances*. In: MONITOX International Symposium "Deltas and Wetlands". 2019. Tulcea, România. p. 73. ISBN 978-606-8896-00-7. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/99168](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/99168)

22. Nisi, B., Bogdevich, O., Vaselli, O., Nicoara, I., Tassi, F., **Culighin, E.**, Mogorici, C., Jeleapov, V., Mussi, M., *Geochemical and isotopic investigations on the thermal and mineral underground waters from the Republic of Moldova*, European Geosciences Union General Assembly 2017, 23-28.04.2017, Vienna, Austria p. 6962,

23. BOGDEVICH, O., ENE, A., CULIGHIN, E., CADOCHNIKOV, O., IZMAILOVA, D., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. *Heavy metal analysis in different environmental samples from lower Danube Euroregion*. In: Balkan Workshop on Applied Physics. Ediția a 16-a. 2016. Constanța, România. p. 169. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/108748](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/108748)

24. NISI, B., BOGDEVICH, O., NICOARA, I., IZMAILOVA, D., **CULIGHIN, E.**, CADOCHNIKOV, O., GRIGORAS, M., MOGORICI, C., VASELLI, O., *Heavy metal contents in deep aquifers from the Republic of Moldova*, 18<sup>th</sup> International Conference on Heavy Metals in the Environment, 12-15.09.2016, Ghent, Belgium, p. 385-386 <https://openjournals.ugent.be/ichmet/article/71230/galley/195467/view/>

25. DUCA, GH., LUPASCU, T., BOGDEVICH, O., CADOCHNIKOV, O., **CULIGHIN, E.**, NICOLAU, E., MITINA, T., IZMAILOVA, D., BONDARENCO, N., GRIGORAS, M., GRIGORAS, D., *The study of pollution sources for Water Management purposes in Republic of Moldova*, SIMI 2015, Bucharest, Romania, p.30

26. BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.**, LUPASCU, T., *Bioremediation of POPs polluted sites (case studies in the Republic of Moldova)*, 6th European Bioremediation Conference, Chania, Crete, Greece, 29.06-02.07.2015, p. 378

27. BOGDEVICH, O., IZMAILOVA, D., ENE, A., **CULIGHIN, E.**, *Evaluation of trace metal background concentration in soil and sediments in lower Prut wetlands*, 14th Int. Balkan Workshop on Applied Physics, Constanta, Romania, 02-04.07.2014, p. 186

#### 4.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

28. LUPASCU, T., PETUHOV, O., NASTAS, R., TIMBALIUC, N., CIOBANU, M., MITINA, T., LUPASCU, L., CEBAN (GÎNSARI), I., **CULIGHIN, E.**, *Synthetic and natural adsorbents for water treatment and detoxification of the human body*. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022*. Ediția 7, R, Vol.1. 2022. Chisinau. p. 84. ISBN 978-9975-159-06-7.. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/151415](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/151415)

29. BOGDEVICH, O., BYCOVA, E. V., DRUCIOC, S., **CULIGHIN, E.**, *Spatial mapping of national emissions of short-lived climate pollutants in Republic of Moldova*. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022*. Ediția 7, Vol.1. 2022. Chisinau. pp. 137-138. ISBN 978-9975-159-06-7.. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/151912](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/151912)

30. BOGDEVICH, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E., CADOCHNIKOV, O., GRIGORAȘ, M., Review of the management of POPs contaminated sites in Republic of Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022*. Ediția 7, Vol.1. 2022. Chisinau. pp. 154-155. ISBN 978-9975-159-06-7. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/152004](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/152004)
31. RASTIMESINA, I., POSTOLAKY, O., BOGDEVICH, O., JOSAN (VORONA), V., NICOLAU, E., CULIGHIN, E., *Microbiological characteristic of soil for the bioremediation of POPs contaminated sites*. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022*. Ediția 7, R, Vol.1. 2022. Chisinau. p. 178. ISBN 978-9975-159-06-7. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/152079](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/152079)
32. CULIGHIN, E. *Changes over time in persistent organic pollutants (POP) concentrations in soils in lower Dniester region, Republic of Moldova*. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022*. Ediția 7, R, Vol.1. 2022. Chisinau. pp. 182-183. ISBN 978-9975-159-06-7.. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/152089](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/152089)
33. BOGDEVICH, O., ENE, A., TEODOROF, L., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. The study of toxic substances in low Danube region of Republic of Moldova. In: *Achievements and perspectives of modern chemistry*. 9-11 octombrie 2019, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Tipografia Academiei de Științe a Moldovei, 2019, p. 46. ISBN 978-9975-62-428-2. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/86782](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/86782)
34. BOGDEVICH, O., SPANOS, T., ENE, A., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. The analysis of groundwater quality in monitoring network of Republic of Moldova. In: *Achievements and perspectives of modern chemistry*. 9-11 octombrie 2019, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Tipografia Academiei de Științe a Moldovei, 2019, p. 49. ISBN 978-9975-62-428-2. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/86915](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/86915)
35. LEFEVRE, E., MALLEY, C., DRUCIOC, S., BOGDEVICI, O., CULIGHIN, E. The status of the inventory of short-lived climate pollutants in Moldova. In: *Achievements and perspectives of modern chemistry*. 9-11 octombrie 2019, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Tipografia Academiei de Științe a Moldovei, 2019, p. 50. ISBN 978-9975-62-428-2. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/86914](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/86914)
36. BOGDEVICH, O., CULIGHIN, E., LUPASCU, T. Remediation of POPs polluted sites in Republic of Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry - 2017*. Ediția 6, 2-3 martie 2017, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Academy of Sciences of Moldova, 2017, p. 103. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/73671](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/73671)
37. BOGDEVICH, O., CULIGHIN, E., CADOCHNIKOV, O., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. Inventory of industrial pollution sources of toxic substances in the Republic of Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry - 2017*. Ediția 6, 2-3 martie 2017, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Academy of Sciences of Moldova, 2017, p. 149. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/73915](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/73915)
38. BOGDEVICH, O., CADOCHNIKOV, O., CULIGHIN, E., NICOLAU, E., GRIGORAȘ, M. *Study of POPs contaminated site for environmental risk assessment and remediation in Moldova*. In: 6<sup>th</sup> International Conference Ecological and environmental chemistry. Chisinau, Republic of Moldova, March 2-3, 2017, p. 151. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/73923](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/73923)
39. CULIGHIN, E., LUPASCU, T. . Study of adsorption of organic pollutants on carbonaceous sorbents. In: *Ecological and environmental chemistry - 2017*. Ediția 6, 2-3 martie 2017, Chișinău. Chisinau, Republic of Moldova: Academy of Sciences of Moldova, 2017, p. 214. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/74254](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/74254)
40. CULIGHIN, E., *Methods of hydrocarbons soil decontamination with the sorbents use*, Int. Conf. "Environment and climate change: from visions to actions", Ministry of Environment of Moldova, Chisinau, Moldova, 5-6.06.2015, p.63-64
41. CULIGHIN, E. Studiul pericolului de poluare a solurilor cu substanțe organice toxice în bazinul r. Nistru. In: *Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători*. Editia 3, Chișinău, Republica Moldova, 10 martie 2014, p. 21. ISBN 978-9975-4257-2-8. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/71777](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/71777)
- 4.5. *în alte culegeri de lucrări științifice editate peste hotare*
42. CULIGHIN, E. *Adsorption Study of Organic Pollutants on Carbonaceous Sorbents*. In: IUPAC Postgraduate Summer School on Green Chemistry 2018, Venice, Italy. p. 82. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/105979](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/105979)
- 4.6. *în alte culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova*

43. BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.**, NICOLAU, E., POPs contaminated sites in Republic of Moldova: problem definition and possible solutions. In: *Ecological chemistry ensures a healthy environment*. 2022. Chișinău. p. 17. ISBN 978-9975-62-466-4 (PDF). DOI: <https://doi.org/10.19261/enece.2022.ab08>

44. **CULIGHIN, E.**, BOGDEVICI, O., LUPAȘCU, T. Changes over time in persistent organic pollutants concentrations in soils in Lower Dniester Region, Republic of Moldova. In: *Ecological chemistry ensures a healthy environment*. 16 septembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Institute of Chemistry, 2022, p. 23. DOI: <https://doi.org/10.19261/enece.2022.ab14>

45. BOGDEVICH, O., RASTIMEȘINA, I., POSTOLAKY, O., **CULIGHIN, E.**, NICOLAU, E., JOSAN (VORONA), V.. *Environmental friendly solutions for the remediation of pops contaminated sites*. Advanced materials to reduce the impact of toxic chemicals on the environment and health. Ediția 1. 2023. Chișinău. p. 42. ISBN (pdf) 978-9975-62-559-3. DOI: <https://doi.org/10.19261/admateh.2023.ab33>

#### **5.1. cărți (cu caracter informativ)**

46. DUCA, GH., LUPASCU, T., NICOLAU, E., **CULIGHIN, E.** *Chimia ecologică și a mediului*, Chisinau, 2018, Biotehdesign, 250 p., ISBN 978-9975-108-51-5.

#### **5.3. atlase, hărți, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice)**

47. BOGDEVICH, O., **CULIGHIN, E.**, ENE, A. *Chapter 3: Atomic absorption spectroscopy for metal analysis*. High-performance analytical techniques for the monitoring of toxicants in environment. Methodological guide., Cluj-Napoca, Casa Cărții de Știință, 2021, 178 p, ISBN: 978-606-17-1848-1

48. ARICU, A., DRUCIOC, S., TAPIS, V., BOGDEVICI, O., BYKOVA, E., **CULIGHIN, E.**, NICOLAU, E., NASTAS, R., KIRILLOVA, T., KUZNETSOV, E., MORARU, L., VASILIEV, I., BURTEV, S., TARITA, A., MOSANU, E., BREGA, V., FASOLA, R., *Informative Inventory Report of the Republic of Moldova, 1990-2017*, MADRE/Institute of Chemistry, Chisinau (Tipogr. „Primex-Com”), 2020, 268 p., ISBN: 978-9975-3347-8-5

49. TAPIS, V., DRUCIOC, S., JACOT, V., BOGDEVICI, O., BYKOVA, E., KIRILLOVA, T., BURTEV, S., MORARU, L., VASILIEV, I., TARITA, A., MOSANU, E., BREGA, V., **CULIGHIN, E.**, KUZNETSOV, E. *Informative Inventory Report of the Republic of Moldova 1990-2019*, MADRE/Inst. of Chemistry, Chisinau (CEP USM), 2021, 211 p., ISBN: 978-9975-152-02-0

50. BOGDEVICI, O., ALCAZ, V., ISICICO, E., TRAIAN, S., CADOCINICOV, O., **CULIGHIN, E.** *Evaluarea riscului de mediu și seismic în Euroregiunea Dunării de Jos. Aspecte metodologice*, Chisinau, 2015, Acad. de Șt. A Moldovei, Inst. de Geologie și Seismologie (Tipogr. „Elan Poligraf”), 32 p., ISBN 978-9975-66-507-0.

#### **6. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții**

51. LUPAȘCU T., MITINA T., GOREACIOC T., **CULIGHIN E.**, CIBOTARU S., POVAR I. (MD), DEMCHENKO P., KOZLOV K., VOITKO O. (UA) *Procedeu de oxidare a pectinei*. Brevet de invenție. 4746 Publ. BOPI nr. 2/2021, pp. 42-42

## ADNOTARE

**Culighin Elena „Studiul gradului de poluare a solului și apelor naturale în districtul hidrografic Nistru și aplicarea metodelor adsorbționale de remediere”, teză de doctor în științe chimice, or. Chișinău, 2025.**

**Structura lucrării:** introducere, 4 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 179 titluri, 105 pagini text de bază, 51 figuri, 22 tabele, 6 anexe. Rezultatele obținute sunt publicate în 51 lucrări științifice.

**Cuvintele cheie:** poluare, poluanți organici persistenti, metale grele, districtul bazinului hidrografic Nistru.

**Scopul acestei lucrări:** investigarea gradului de poluare a solului și apelor naturale în districtul bazinului hidrografic (DBH) Nistru și cercetarea privind utilizarea metodelor sorbționale ca modalitate de remediere a poluării.

**Obiectivele cercetării:** Analiza factorilor și principalelor surse de poluare a solului și apelor naturale în DBH Nistru; caracterizarea chimică a probelor de sol și apă prin determinarea concentrațiilor de poluanți, inclusiv metale grele și compuși organici persistenti (POPs), utilizând metode analitice avansate; evaluarea variației concentrațiilor de POPs în sol în timp, pentru a determina tendințele de acumulare și degradare, corelată cu identificarea și caracterizarea surselor majore de poluare a ecosistemelor din regiune; evaluarea eficienței diferitelor materiale în eliminarea poluanților organici și anorganici din sol și apă; analiza costurilor și beneficiilor aplicării metodelor selectate, cu accent pe eficiența lor în reducerea impactului poluării; elaborarea recomandărilor practice pentru gestionarea și remedierea poluării solului și apei în DBH Nistru, pentru luarea deciziilor la planificarea și implementarea măsurilor de protecție a mediului și de gestionare a riscurilor asociate poluării, atenționând autoritățile locale, operatorii industriali și fermierii.

**Noutatea și originalitatea științifică:** Cercetarea realizată contribuie la aprofundarea cunoștințelor privind gradul de poluare a solului și apelor naturale din DBH Nistru și la dezvoltarea unor metode eficiente de remediere bazate pe procese sorbționale. În cadrul studiului au fost obținute date noi referitoare la distribuția spațială și concentrațiile poluanților specifici, evidențiindu-se factorii determinanți ai contaminării. Pentru prima dată, este documentată evoluția temporală a poluării cu POPs în solurile din DBH Nistru în cazul lipsei intervenției de remediere a acestor soluri. Studiul validează metode inovatoare de remediere prin adsorbție cu materiale autohtone, inclusiv biodegradabile, oferind soluții scalabile și recomandări aplicabile în politici publice și strategii ecologice naționale și internaționale.

**Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice:** demonstrează nivelul de poluare din districtul bazinului hidrografic Nistru, identificând sursele majore și mecanismele de migrare a poluanților. Studiul validează eficiența materialelor sorbente în remedierea solului și apei, oferind soluții aplicabile pentru reducerea contaminării și protecția ecosistemelor și sănătății umane.

**Importanța teoretică a tezei:** Rezultatele cercetărilor prezentate în această lucrare vor îmbogăți informația științifică privind studiul poluanților organici persistenti și a metalelor în Republica Moldova, precum și propuneri de remediere a poluării.

**Valoarea aplicativă a tezei:** Datele prezentate, referitoare la starea ecosistemelor DBH Nistru, sunt de interes public, dar și contribuie la dezvoltarea și îmbunătățirea atât a cadrului legislativ, cât și celui de reabilitare a solurilor și apelor naturale. Rezultatele cercetărilor pot servi în calitate de material didactic pentru studenți, masteranzi, doctoranzi, tineri cercetători și specialiști în domeniu.

**Implementarea rezultatelor științifice:** Rezultatele științifice au contribuit la completarea bazei de date naționale privind poluarea cu POPs (<https://www.moldovapops.md/infomanagement/default.htm>). Prin această contribuție, rezultatele tezei devin un instrument esențial pentru autoritățile de mediu și instituțiile de cercetare, ajutând la elaborarea unor strategii de prevenire și remediere bazate pe date științifice actualizate. Rezultatele au fundamentat obținerea unui brevet de invenție și au devenit parte componentă a 51 de lucrări: articole științifice (16), materialele conferințelor (32), precum și a 3 suporturi educaționale și ghiduri.

## ANNOTATION

**Culighin Elena "Study of the degree of soil and natural water pollution in the Dniester hydrographic district and the application of adsorption remediation methods", doctoral thesis in chemical sciences, or. Chisinau, 2025.**

**Structure of the work:** introduction, 4 chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 179 titles, 105 pages of basic text, 51 figures, 22 tables, 6 appendices. Results were published in 51 scientific works.

**Key words:** pollution, persistent organic pollutants, heavy metals, Dniester hydrographical district.

**The aim** of this work is to investigate the degree of soil and natural water pollution in the Dniester River basin district and to research the use of sorption methods as a means of pollution remediation.

**Research Objectives:** Analysis of the factors and main sources of soil and natural water pollution in the Dniester River Basin District; chemical and physical characterization of soil and water samples by determining the concentrations of pollutants, including heavy metals and persistent organic compounds, using advanced analytical methods; assessment of the variation of POPs concentrations in soil over time, to determine accumulation and degradation trends, correlated with the identification and characterization of major sources of pollution of ecosystems in the region; assessment of the efficiency of different materials in eliminating organic and inorganic pollutants from soil and water; analysis of the costs and benefits of applying the selected methods, with an emphasis on their efficiency in reducing the impact of pollution; development of practical recommendations for the management and remediation of soil and water pollution in the Dniester River Basin District, for decision-making in planning and implementing environmental protection measures and managing the risks associated with pollution, drawing attention to local authorities, industrial operators and farmers.

**Scientific Novelty and Originality.** The research contributes to the deepening of knowledge regarding the degree of soil and natural water pollution in the Dniester River Basin District and to the development of effective remediation methods based on sorption processes. The study obtained new data on the spatial distribution and concentrations of specific pollutants, highlighting the determining factors of contamination. For the first time, the temporal evolution of POPs pollution in soils in the Nistru River Basin District is documented in the absence of remediation intervention for these soils. The study validates innovative remediation methods through adsorption with indigenous materials, including biodegradable ones, offering scalable solutions and recommendations applicable in public policies and national and international ecological strategies.

**The obtained results contribute to solving a scientific problem:** demonstrate the level of pollution in the Dniester hydrographic district, identifying the major sources and mechanisms of pollutant migration. The study validates the efficiency of sorbent materials in soil and water remediation, offering applicable solutions for reducing contamination and protecting ecosystems and human health.

**Theoretical Importance of Research.** The research results presented in this study will enrich scientific knowledge regarding the study of persistent organic pollutants and metals in the Republic of Moldova, as well as proposals for pollution remediation.

**Practical Value of Research:** The presented data, regarding the state of the ecosystems of the investigated Dniester hydrographic district, are of public interest, but also contribute to the development and improvement of both the legislative framework and the rehabilitation of natural soils and waters. The research results can serve as teaching material for students, master's students, doctoral students, young researchers and specialists in the field.

**Implementation of Scientific Results.** The scientific results contributed to completing the national database on POPs pollution (<https://www.moldovapops.md/infomanagement/default.htm>). Through this contribution, the results of the thesis become an essential tool for environmental authorities and research institutions, helping to develop prevention and remediation strategies based on updated scientific data. The results substantiated the obtaining of a patent and became part of 51 works: scientific articles (16), conference materials (32), as well as 3 educational supports and guides.

## АННОТАЦИЯ

**Кулигин Елена «Изучение степени загрязнения почв и природных вод Днестровского гидрографического района и применение методов адсорбционной очистки», докторская диссертация по химическим наукам, или. Кишинев, 2025.**

**Структура работы:** введение, 4 главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 179 наименований, 105 страниц основного текста, 51 рисунка, 22 таблиц, 6 приложений. Полученные результаты опубликованы в 51 научной работе.

**Ключевые слова:** загрязнение, стойкие органические загрязнители, тяжелые металлы, Днестровский гидрографический район.

**Целью** данного исследования является изучение степени загрязнения почвы и природных вод в гидрографическом районе Днестра и исследование использования сорбционных методов в качестве способа ремедиации загрязнения.

**Задачи исследования:** Анализ факторов и основных источников загрязнения почв и природных вод в районе бассейна реки Днестр; химическая и физическая характеристика образцов почвы и воды путем определения концентраций загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы и стойкие органические соединения (СОЗ), с использованием современных аналитических методов; оценка изменения концентраций СОЗ в почве с течением времени для определения тенденций накопления и деградации, коррелирующих с выявлением и характеристикой основных источников загрязнения экосистем в регионе; оценка эффективности различных материалов при удалении органических и неорганических загрязнителей из почвы и воды; анализ затрат и выгод применения выбранных методов с акцентом на их эффективность в снижении воздействия загрязнения; разработка практических рекомендаций по управлению и ликвидации загрязнения почвы и воды в районе бассейна реки Днестр, по принятию решений при планировании и реализации мер по охране окружающей среды и управлению рисками, связанными с загрязнением, оповещение местных органов власти, промышленных операторов и фермеров.

**Научная новизна и оригинальность.** Проведенные исследования способствуют углублению знаний о степени загрязнения почв и природных вод бассейна реки Днестр, а также разработке эффективных методов ремедиации на основе сорбционных процессов. В ходе исследования получены новые данные о пространственном распределении и концентрации конкретных загрязняющих веществ, выделены определяющие факторы загрязнения. Впервые задокументирована временная эволюция загрязнения СОЗ в почвах бассейна реки Днестр при отсутствии мероприятий по ремедиации почвы. Исследование подтверждает эффективность инновационных методов ремедиации путем адсорбции местными материалами, в том числе биоразлагаемыми, предлагая масштабируемые решения и рекомендации, применимые к государственной политике, а также национальным и международным экологическим стратегиям.

**Полученные результаты способствуют решению научной проблемы,** демонстрируют уровень загрязнения бассейна реки Днестр, выявляя основные источники и механизмы миграции загрязняющих веществ. Исследование подтверждает эффективность сорбирующих материалов при очистке почвы и воды, предлагая применимые решения для снижения загрязнения и защиты экосистем и здоровья человека.

**Теоретическая значимость исследования.** Результаты исследований, представленные в данной работе, обогатят научную информацию по изучению стойких органических загрязнителей и металлов в Республике Молдова, а также предложения по ликвидации загрязнения.

**Практическая ценность исследования:** Представленные данные о состоянии экосистем исследуемого района бассейна реки Днестр представляют общественный интерес, а также способствуют развитию и совершенствованию как законодательной базы, так и реабилитации природных почв и вод. Результаты исследований могут служить учебно-методическим материалом для студентов, магистрантов, докторантов, молодых исследователей и специалистов в данной области.

**Практическое внедрение научных результатов.** Полученные научные результаты способствовали пополнению национальной базы данных о загрязнении СОЗ (<https://www.moldovapops.md/infomanagement/default.htm>). Благодаря этому вкладу результаты диссертации становятся важным инструментом для природоохранных органов и научно-исследовательских институтов, помогая разрабатывать стратегии профилактики и восстановления на основе обновленных научных данных. Результаты послужили основанием для получения патента и вошли в состав 51 работы: научных статей (16), материалов конференций (32), а также 3 учебно-методических пособий и руководств.

**CULIGHIN ELENA**

**STUDIUL GRADULUI DE POLUARE A SOLULUI ȘI APELOR NATURALE ÎN  
DISTRICTUL HIDROGRAFIC NISTRU ȘI UTILIZAREA METODELOR  
ADSORBȚIONALE DE REMEDIERE**

**145.01 Chimie ecologică**

**Rezumatul tezei de doctor în științe chimice**

---

Aprobat spre tipar: 27.02.2025

Formatul hârtiei: 60×84 1/16

Hârtie offset. Tipar offset.

Tiraj: **35 exemplare**

---

Coli de tipar: 2.35

Comanda nr. \_\_\_\_\_

S.C. Dira-AP SRL

mun. Chișinău, bd. Moscova bd., 17/1, of. 6, MD-2068