UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA
INSTITUTUL DE CHIMIE

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 502.51:504.5:547(282.2)(478)(043.2)

NICOLAU ELENA

ESTIMAREA RISCULUI DE POLUARE CHIMICĂ CU SUBSTANȚE ORGANICE PERSISTENTE ÎN DISTRICTUL HIDROGRAFIC DUNĂRE-PRUT ȘI MAREA NEAGRĂ DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA ȘI ELABORAREA RECOMANDĂRILOR DE REMEDIERE

145.01. CHIMIE ECOLOGICĂ

Rezumatul tezei de doctor în științe chimice

CHIȘINĂU, 2025

Teza a fost elaborată în cadrul Laboratorul Monitoring al Calității Mediului și Laboratorul de Chimie Fizică și Cuantică, Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova

Conducător științific: DUCA Gheorghe, academician, doctor habilitat în științe chimice, profesor universitar, Institutul de Chimie al USM

Consultant științific: BOGDEVICI Oleg, doctor în științe geologice, conferențiar cercetător, Institutul de Chimie al USM

Referenți oficiali:

1. **BOBEICĂ Valentin**, doctor habilitat în științe chimice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova
2. **SANDU Maria**, doctor în științe chimice, conferențiar cercetător, Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Ecologie și Geografie al USM

Componența consiliului științific specializat:

1. **GONȚA Maria, președinte**, doctor habilitat în științe chimice, profesor universitar, USM
2. **BUNDUCHI Elena, secretar științific**, doctor în științe chimice, conferențiar universitar, USM
3. **GLADCHI Viorica**, doctor în științe chimice, profesor universitar, USM
4. **COVALIOVA Olga**, doctor habilitat în științe chimice, conferențiar cercetător, Institutul de Chimie al USM
5. **SUBOTIN Iurie**, doctor în științe chimice, conferențiar universitar, UTM
6. **ATANASE Leonard-Ionuț**, doctor în științe chimice, profesor universitar, Universitatea ”Apollonia”, Iași (România)

Susținerea va avea loc la **30 aprilie 2025**, ora **13.00** în ședința Consiliului științific specializat D 145.01-24-30 din cadrul Universității de Stat din Moldova (mun. Chișinău, MD-2009, str. Alexei Mateevici 60, blocul 4, sala 222).

Teza de doctorat și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Centrală a USM, pe pagina web a ANACEC (https://www.anacec.md/ro/technical-staff/evaluations) și pe pagina web a USM (https://library.usm.md/).


Rezumatul a fost expediat la 26 martie 2025

Secretar științific — **BUNDUCHI Elena**, doctor în științe chimice, conferențiar universitar

Conducător științific — **DUCA Gheorghe**, academician, doctor habilitat în științe chimice, profesor universitar

Consultant științific — **BOGDEVICI Oleg**, doctor în științe geologice, conferențiar cercetător

Autor — **NICOLAU Elena**

(© Nicolau Elena, 2025)

CUPRINS

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII 4
1. POLUANȚII ORGANICI PERSISTENȚI – COMPUȘI CU RISC CHIMIC SPORIT PENTRU MEDIUL AMBIANT ȘI SĂNĂTATEA POPULAȚIEI 8
2. MATERIALE ȘI METODE 9
3. POLUANȚII ORGANICI PERSISTENȚI ÎN COMPONENTELE DE MEDIU CERCETATE 12
3.1. Lacul Beleu 12
3.2. Amplasamentul depozitului de pesticide organoclorurate din satul Slobozia Mare 13
3.3. Amplasamentul stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga 16
4. ESTIMAREA RISCULUI DE POLUARE CHIMICĂ CU POLUANȚI ORGANICI PERSISTENȚI 18
4.1. Elaborarea modelelor conceptuale 18
4.2. Estimarea riscului de poluare chimică cu pesticide organoclorurate în baza indicilor de risc 19
4.3. Acțiunea toxică a poluanților organici persistenți asupra diferitor organisme 21
4.4. Acțiunea toxică a pesticidelor organoclorurate asupra faunei edafice 23
4.5. Elaborarea recomandărilor privind metodele de tratare și remediere a siturilor contaminate cu poluanți organici persistenți 25
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI 26
BIBLIOGRAFIE 29
PUBLICAȚII LA TEZA DE DOCTORAT 31
ADNOTARE 34
АННОТАЦИЯ 35
ADNOTATION 36

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța temei cercetate. Prezența poluanților organici persistenți (POPs) în componentele de mediu reprezintă o problemă stringentă atât la nivel național, cât și internațional. Actualitatea ei este determinată atât de cantitățile de POPs produse și utilizate în diferite domenii, cât și de consecințele devastatoare ale acestora asupra oamenilor și altor organisme. Deși, gestionarea POPs este reglementată prin diferite acte internaționale (Declarația de la Rio de Janeiro, Protocolul de la Aarhus, Convențiile de la Stockholm, Basel, Rotterdam etc.) și naționale (Strategia Națională cu privire la reducerea și eliminarea POPs și Planul Național de implementare a Convenției de la Stockholm, Legea 277/2018, HG 99/2018, HG 1006/2018 etc.), cantitățile importate și stocate pe teritoriul Republicii Moldova (RM), precum și cele aflate în uz, sunt surse iminente de contaminare a solului, aerului atmosferic, apelor potabile și produselor alimentare, afectând grav ecosistemele, sănătatea populației și dezvoltarea durabilă a comunităților [1-3]. Identificarea POPs în diverse componente de mediu prelevate de pe teritoriul RM, inclusiv în unele produse alimentare (preponderent de origine animală), liposolubilitatea, capacitatea de bioacumulare și biomagnificare și proprietățile fiziologice ale lor evidențiază necesitatea monitorizării în timp a acestor xenobiotici, a migrării și transformării lor, precum și a estimării impactului acestora asupra diferitor ecosisteme [4-8]. Alarmantă este și detectarea POPs în mostrele de lapte matern, diverse țesuturi și organe interne. Acest fapt reflectă nu doar pericolul prezenței POPs asupra populației actuale, dar și a generațiilor viitoare, a poverii asupra sistemelor de asigurare medicală și asistență socială.

În acest context, pentru diminuarea impactului POPs asupra ecosistemelor, este esențială întreprinderea măsurilor de rigoare pentru identificarea și înlăturarea surselor de poluare, precum și monitorizarea și gestionarea corectă a sectoarelor contaminate. Estimarea riscului de poluare chimică cu POPs, cu ulterioarele implementări a activităților de îmbunătățire contribuie la asigurarea realizării obiectivelor de dezvoltare durabilă a RM, stipulate în documentul de referință „Moldova europeană 2030” [9].

Scopul lucrării (obiectivul general): studierea riscului de poluare chimică cu substanțe organice persistente a districtului hidrografic Dunăre-Prut și Marea Neagră (DH DPMN) din regiunea de sud a RM și elaborarea recomandărilor pentru remedierea teritoriilor contaminate.

Obiectivele cercetării includ:

1. Studiul POPs, al principiilor de estimare a riscului de poluare chimică, precum și analiza cadrului legislativ și normativ în domeniul gestionării acestora.

2. Analiza probelor de apă, sedimente și sol prelevate din DH DPMN din regiunea de sud a RM: lacul Beleu (poluare specifică cu hidrocarburi aromatice policiclice (HAP)), amplasamentul depozitului de pesticide organoclorurate (PCO) din satul Slobozia Mare și amplasamentul stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga (poluare specifică cu bifenili policlorurați (PCB)).
3. Elaborarea modelelor conceptuale de estimare a riscului de poluare chimică cu POPs și calcularea indicilor de risc pentru amplasamentul depozitului din satul Slobozia Mare, împreună cu testarea acțiunii POPs asupra diferitor organisme.
4. Elaborarea recomandărilor pentru remedierea poluării cu POPs în regiunea de sud a RM, atât în aspect general, cât și pentru zonele cercetate, în mod particular.
5. Diseminarea rezultatelor cercetărilor în rândul comunității academice și a publicului larg.

Ipoteza de cercetare constă în faptul că pe teritoriul RM sunt prezente teritorii cu un grad înalt de poluare cu substanțe organice persistente, care prezintă un pericol iminent pentru componenta biotică a ecosistemelor. Identificarea și investigarea lor, cu implementarea acțiunilor adecvate de remediere, vor avea un impact pozitiv asupra sănătății populației și calității mediului ambiant.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese. Metodologiile și metodele de cercetare utilizate au fost selectate în corespundere cu obiectivele trasate. Analiza bibliografică a fost efectuată prin metode teoretice precum: documentarea, sistematizarea informației, compararea, studiul statistic, analiza, sinteza etc. Etapele de studiu experimental au fost executate în conformitate cu metodele standardizate la nivel național și/sau internațional și procedurile operaționale interne validate. Analiza calitativă și cantitativă a conținutului de poluanți organici persistenți în probele de apă, sedimente și sol, precum și a extractelor acestora a fost realizată prin cromatografie cu gaz, cuplată cu detector micro ECD (pentru PCO și PCB) și detector de mase 5973 (pentru HAP). Rezultatele obținute au fost procesate cu ajutorul softului ChemStation. Pentru asigurarea calității analizelor a fost utilizată metoda standardului intern (în prezenta cercetare - amestec de PCB-29 și PCB-209). pH-ul extractelor apoase utilizate în analiza toxicității POPs asupra biotei a fost stabilit potențiometric, iar concentrațiile metalelor grele – spectrofotometric.

Estimarea riscului de poluare chimică a fost efectuată prin dezvoltarea modelelor conceptuale și determinarea indicelui total de risc. Investigarea acțiunii POPs asupra diferitor organisme a fost realizată în baza metodologiilor specifice utilizate de laboratoarele specializate, în colaborare cu care au fost efectuate simulările vizate: Laboratorul Hidrobiologie și Ecotoxicologie (Institutul de Zoologie, USM), Laboratorul Colecția Națională de Microorganisme

Nepatogene (Institutul de Microbiologie și Biotehnologie, UTM), Laboratorul Microbiologia Solului (Institutul de Microbiologie și Biotehnologie, UTM) și Laboratorul de Pedologie (Institutul Național de Cercetări Aplicative în Agricultură și Medicină Veterinară, MAIA).

Noutatea și originalitatea științifică constă în stabilirea conținuturilor de POPs în probele de sol, apă și sedimente subacvatice prelevate în regiunea de sud a RM, precum și monitorizarea evoluției în timp a acestora în condițiile geologice și meteorologice specifice țării noastre. În premieră au fost dezvoltate modelele conceptuale de estimare a riscului de poluare chimică pentru siturile lacul Beleu, Slobozia Mare și Ceadîr-Lunga și a fost determinat indicele de risc total pentru amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare, folosind valorile concentrațiilor determinate, nivelul de toxicitate a poluanților identificați, prezența receptorilor de risc și capacitatea de migrare a poluanților în diverse componente de mediu. Prin testarea acțiunii POPs prezenți în probele de sol și sedimente prelevate de pe teritoriul RM asupra diferitor organisme s-au stabilit anumite comportamente și formulate concluzii privind toleranța speciilor la acțiunea sinergică a POPs cercetați. Totodată, a fost formulat un set de recomandări de remediere specifice siturilor cercetate, pornind de la particularitățile acestora.

Problema științifică soluționată constă în fundamentarea metodologiilor complexe de estimare a riscului de poluare chimică cu POPs, ceea ce a condus la elaborarea recomandărilor eficiente de diminuare a riscului asociat POPs pentru siturile cercetate, pentru utilizarea lor ulterioară de către autoritățile publice locale, instituțiile din domeniu și alți factori de decizie.

Semnificația teoretică: s-au dezvoltat metode ample și inovatoare pentru estimarea riscului de contaminare cu POPs. Metodele elaborate pot fi ajustate și aplicate în cazul altor categorii de poluanți, precum și pentru elaborarea diferitor ghiduri metodologice de estimare a riscurilor de poluare chimică. Rezultatele obținute vor suplini bazele de date privind nivelul de poluare a teritoriului RM cu POPs.

Valoarea aplicativă: rezultatele obținute au permis formularea concluziilor privind răspândirea, migrarea și transformarea POPs în mediul ambiant. Metodologia de estimare a riscului prezentată permite clasificarea siturilor poluate și efectuarea activităților de remediere în ordinea priorității lor. Informațiile reflectate în teză prezintă interes pentru factorii de decizie, organizațiile de mediu, specialiștii în domeniu, cercetători, studenți și, chiar, populația de rând.

Aprobarea rezultatelor științifice. Principalele rezultatele reflectate în teză au fost prezentate la diverse manifestări științifice, conferințe, simpozioane, ateliere de lucru, precum: Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători (2014, 2016), Environmental Challenges in Lower Danube Euroregion (2015), Contaminated sites (2016), Balkan Workshop on Applied Physics, Ecological and environmental chemistry (2017, 2022),

Achievements and perspectives of modern chemistry (2019), Deltas and Wetlands (2019), Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health (2020), Environmental Toxicants in Freshwater and Marine Ecosystems in the Black Sea Basin (2020), The Environment and the Industry (2022), Ecological chemistry ensures a healthy environment (2022), Advanced materials to reduce the impact of toxic chemicals on the environment and health (2023) etc. Cercetările efectuate au fost parte componentă a unor studii de amploare realizate în cadrul a 4 proiecte instituționale și regionale.

Publicații la tema cercetărilor. Rezultatele obținute pe parcursul cercetărilor au fost publicate în 22 de lucrări științifice.

Volumul și structura tezei. Teza conține: adnotare, liste ale abrevierilor, tabelelor și figurilor, introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, referințe bibliografice (243 titluri), 36 anexe. Capitolele de bază sunt prezentate pe 120 pagini și includ 24 tabele și 39 figuri.

Cuvinte-cheie: poluanți organici persistenți, pesticide organoclorurate, bifenili policlorurați, hidrocarburi aromatice policiclice, estimarea riscului de poluare chimică.

1. POLUANȚII ORGANICI PERSISTENȚI – COMPUȘI CU RISC CHIMIC SPORIT PENTRU MEDIUL AMBIANT ȘI SĂNĂTATEA POPULAȚIEI

Poluanții organici persistenți sunt compușii organici caracterizați printr-o persistență îndelungată în componentele mediului ambiant. Persistența lor se datorează rezistenței la acțiunea factorilor chimici, biochimici și fotolitici din mediu. Acești poluanți se caracterizează prin toxicitate înaltă și biomagnificare, având consecințe devastatoare și ireversibile. Caracterizarea detaliată a POPs facilitează înțelegerea corelației „structură-proprietăți-impact" și stabilirea legăturilor „cauză-efect" în procesul de estimare a riscului de poluare chimică.

În acest context, primul capitol conține o trecere în revistă a resurselor bibliografice cu referire la caracterizarea a trei categorii de POPs (PCO, PCB și HAP). Astfel, sunt incluse informații cu referire la:

- compoziția și proprietățile fizice ale PCO, PCB și HAP;
- reactivitatea și transformarea acestora în mediul ambiant prin procese fizice, chimice și biochimice anaerobe și aerobe;
- sursele de poluare a mediului ambiant cu POPs versus domeniile lor de utilizare;
- rezultatele cercetărilor anterioare privind PCO, PCB și HAP analizate calitativ și cantitativ în diverse componente de mediu (sol, apă, sedimente subacvatice, produse alimentare, lapte matern, țesuturi);
- impactul POPs asupra componentelor de mediu.

Totodată, în acest compartiment sunt descrise și conceptele teoretice privind evaluarea riscului de poluare chimică, incluzând evaluarea riscului pentru sănătate și evaluarea riscului pentru mediul ambiant și riscului ecologic.

Un impediment major în gestionarea POPs, formularea concluziilor și recomandărilor privind implementarea anumitor măsuri de îmbunătățire a situației, îl constituie baza legislativă și normativă a țării. În această ordine de idei, a fost examinată legislația națională și internațională (actele internaționale ratificate de RM), rezultatele fiind, de asemenea, incluse în primul capitol.

2. MATERIALE ȘI METODE

Capitolul Materiale și metode începe cu caracterizarea DH DPMN, importanței naționale și internaționale, precum și a condițiilor ce favorizează poluarea cu POPs a acestuia. Totodată, sunt descrise sectoarele selectate pentru evaluarea nivelului de contaminare cu POPs și estimarea ulterioară a riscului de poluare chimică și pericolului asociat lor:

1) lacul Beleu – parte componentă a rezervației Prutul de Jos, raionul Cahul;
2) fostul rezervor de stocare și pregătire a pesticidelor și terenul agricol adiacent situate la aproximativ 4 km de la marginea de est a localității Slobozia Mare, raionul Cahul;
3) stația electrică de tensiune înaltă și teritoriul adiacent situate în orașul Ceadîr-Lunga.

Prelevarea probelor pentru evaluarea gradului de poluare a fost efectuată în baza planurilor de eșantionare aleatorie simplă și complexă sistematizată, respectând documentele normative, standardele ISO și ghidurile elaborate în domeniu. Probele de apă au fost recoltate în vase de sticlă întunecată, închise etanș cu dopuri din politetrafluoroetilenă. Probele de sedimente au fost prelevate cu ajutorul dragei Ekman, fiind recoltate la distanța de până la 3 metri de la mal, de la diferite adâncimi. Aceeași procedură de prelevare s-a aplicat și în cazul solului. Recoltarea sedimentelor a fost realizată în cutii speciale din politetrafluoroetilenă, iar a celor de sol – în pungi noi de polietilenă. După transportarea probelor în laborator, fiecare probă de sedimente și sol a fost omogenizată, uscată la temperatura camerei, înlăturate pietrele și alte obiecte de dimensiuni mai mari (care nu pot fi mărunțite), mojarată, cernută prin site cu dimensiunea ochiurilor de 1 mm și reambalată. Probele de apă nu au necesitat pregătire preventivă.

Procesul de extracție a fost realizat folosind amestecurile de solvenți: hexan cu diclorometan (2:1), extracție lichid-lichid, 2 ori a câte 3 minute (pentru probele de apă) și hexan cu acetonă (1:1), extracție asistată de microunde la 300 W, 2 ori a câte 10 minute (pentru probele de sedimente și sol). Urmele de apă din extracte au fost înlăturate prin adăugare de sulfat de sodiu anhidru. Concentrarea probelor a fost realizată în flux blând de azot. Extractele obținute au fost purificate cu silicagel și oxid de aluminiu și aduse cu hexan la cota de 1 mL.

Analiza instrumentală a POPs a fost realizată în baza procedurilor operaționale interne, elaborate în cadrul Laboratorului de Monitoring al Calității Mediului, documentelor normative, metodelor EPA și ghidurilor metodologice în domeniu [10-14]. Determinarea conținutului de POPs în probe a fost efectuată prin cromatografia cu gaz, realizată prin două sisteme cromatografice: cromatograful Agilent 6890 cu detector micro ECD (pentru PCO și PCB) și cromatograful Agilent 6890 cu detector de mase 5973 (pentru HAP). Prelucrarea cromatogramelor a fost realizată cu ajutorul softului ChemStation. Reactivii (solvenții, standardele interne) și gazele

utilizate au fost de nivel înalt de puritate, fiind procurate de la firmele Supelco-Aldrich, Agilent Technologies, Linde Gas etc. Pentru asigurarea veridicității rezultatelor a fost utilizată metoda standardului intern adăugat la etapa de extracție: amestec de triclorobifenil (PCB-29, CAS#15862-07-4) și decaclorobifenil (PCB-209, CAS#2051-24-3) dizolvați în hexan (concentrația fiecăruia: 1 μL/mL).

Estimarea riscului de poluare chimică a fost realizată prin elaborarea modelelor conceptuale ale siturilor cercetate și prin calcularea indicelui total de risc pentru sectorul Slobozia Mare [15-18]. În cazul aplicării primei metodologii au fost identificate sursele de poluare, căile de migrare a poluanților, potențialii receptori, formele de expunere etc., care au fost reprezentate grafic, obținându-se modelele menționate. În cazul metodologiei bazate pe calculul indicelui total de risc, au fost determinați: indicele de risc pentru nivelul de poluare (include spectrul, concentrațiile și nivelul de toxicitate a poluanților identificați); indicele de risc pentru receptori (stabilește potențialii receptorii în coraport cu distanța până la ei) și indicele potențialului de dispersie a poluanților (reflectă potențialul de migrare a poluanților și probabilitatea pătrunderii lor în receptori, reieșind din particularitățile siturilor cercetate). Ulterior, a fost calculat indicele total de risc pentru fiecare probă. Calculul efectuat permite prioritizarea sectoarelor cercetate în scopul elaborării recomandărilor și executării activităților de remediere, pentru a minimiza acțiunea POPs identificați asupra sănătății mediului și oamenilor. Estimarea acestor indici, la nivel național, poate contribui la formarea unei viziuni detaliate asupra nivelului de contaminare a teritoriului RM cu POPs, elaborarea politicilor de mediu relevante și implementarea unor planuri de acțiuni rezultative.

Acțiunea POPs asupra biotei a fost studiată în colaborare cu colegii din Laboratorul Hidrobiologie și Ecotoxicologie, Institutul de Zoologie, USM (specia *Daphnia Magna*), Laboratorul Colecția Națională de Microorganisme Nepatogene, Institutul de Microbiologie și Biotehnologie, UTM (culturile de fungii și bacterii), Laboratorul Microbiologia Solului, Institutul de Microbiologie și Biotehnologie, UTM (plantulele de dovleac și ovăz) și Laboratorul de Pedologie, Institutul Național de Cercetări Aplicative în Agricultură și Medicină Veterinară, MAIA (fauna edafică). Cercetările au fost efectuate în baza metodologiilor specifice, utilizate de laboratoarele menționate. Pentru evaluarea acțiunii POPs asupra culturilor de fungii și bacterii au fost selectate 9 probe de sol și sedimente cu Σ POPs variind de la nedetectabil până la 250 mg/kg. După extracția poluanților conform metodologiei descrise anterior și dizolvarea acestora în ulei de vaselină, s-a recurs la introducerea extractelor în godeurile aplicate în mediile de culturi de bacterii și fungii. Rezultatele au fost fixate după 48 ore de incubare ($t_{incubare}$ = 37°C).

Ulterior, pentru aceleași probe, a fost examinată influența POPs asupra creșterii plantulelor de dovleac și ovăz, utilizând metoda plăcilor de sol ($t_{incubare}$ = 25°C). În calitate de răspuns au fost determinate energiile germinative (în a 3-a zi) și germinația semințelor plantelor cercetate, măsurându-se lungimile rădăcinilor și plantulelor formate (în a 7-a zi). Rezultatele măsurărilor au fost procesate în programul Excel, calculându-se valorile medii și intervalele de încredere ale acestora. Masele supuse analizelor au fost a câte 50 g probă. În calitate de probă de referință a fost utilizată o probă de sol forestier, fără reziduuri de contaminanți.

În scopul determinării acțiunii POPs asupra diferitor organisme, au fost obținute extractele apoase ale probelor de sol, în care prevalează conținutul uneia din categoriile de contaminanți examinați (PCO, PCB sau HAP). Extracția a fost realizată la temperatura camerei timp de 72 ore, cu agitare periodică (masa probelor: câte 10 g, 50 g și 100 g; volumul extractantului: 1 litru). Pentru extractele apoase obținute au fost determinate: pH-ul, electroconductibilitatea, conținutul de cadmiu, plumb și nichel și confirmată prezența POPs. Ulterior, în 100 mL de fiecare extract au fost introduse câte cinci exemplare de *Daphnia Magna* și monitorizat comportamentul acestora (după 24 și 48 ore). Organismele au fost hrănite înainte de experiment cu suspensie de *Clorela Vulgaris*.

Nivelul de toxicitate a POPs asupra altor organisme a fost examinat, utilizând specii colectate din grădină (râme, melci de livadă, gărgărițe de urzică). Ele au fost plasate pe platforme din plută, introduse în recipiente de sticlă, în care, preventiv, au fost luate 2-4 mL de extract analizat. Recipientele au fost acoperite cu folii de staniol, dar asigurând condiții aerobe. Condițiile în laborator: umiditatea relativă a aerului - 75-78%, temperatura - în limite de 25-26°C pe toată durata zilei, raportul lumină/întuneric - 16 ore/8 ore. Studiul a fost efectuat prin comparație cu proba de referință.

Pentru determinarea influenței POPs asupra faunei edafice s-a divizat situl cercetat în două sectoare: zona A (poluată) și zona B (nepoluată). Ulterior, zona A a fost divizată în dependență de altitudine, în trei sectoare: partea de sus, de mijloc și de jos, obținându-se în final patru puncte de examinare. Pentru fiecare punct au fost colectate probe medii de material pământos de pe o suprafață de 1 m^2, de la cinci adâncimi: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm. Totodată, au fost colectate și toate organismele găsite în volumele săpate de material pământos, fiind introduse în eprubete, în care, preventiv, era adăugat câte 20 mL de alcool. În laborator, pentru fiecare probă de material pământos a fost determinat conținutul de POPs, iar pentru fiecare eprubetă au fost identificate, din punct de vedere sistematic, toate organismele colectate, a fost stabilită cantitatea numerică și masa lor. În baza rezultatelor obținute s-au formulat concluzii privind dependența numărului de organisme și biomasei probelor de ΣPOPs identificate.

3. POLUANȚII ORGANICI PERSISTENȚI ÎN COMPONENTELE DE MEDIU CERCETATE

3.1. Lacul Beleu

În perioada anilor 2014 – 2015 a fost efectuată prima cercetare a lacului Beleu, prelevându-se și analizându-se 8 probe de apă și 18 probe de sedimente. În rezultatul analizei cromatogramelor înregistrate s-a stabilit prezența în probele de apă a 6 PCO (heptaclor, izomerii și metaboliții DDT-ului), 10 PCB (PCB: 18, 28, 31, 52, 101, 118, 149, 138, 154, 180) și 6 HAP (antracen, benzo[a]antracen, fenantren, fluoranten, fluoren și piren). ΣPOPs detectați nu a depășit valoarea concentrației maxim admisibile (CMA) de 0,1000 μg/L, cu excepția probei DW64, în care doar ΣHAP a fost de 0,1165 μg/L. Probele de apă analizate s-au caracterizat printr-un conținut mai mare de HAP decât de PCB și PCO. ΣHAP identificate a fost determinată de prezența fluorenului (max.: 0,0040 μg/L), fenantrenului (max.: 0,0372 μg/L), antracenului (max.: 0,0325 μg/L), fluorantenului (max.: 0,0357 μg/L), pirenului (max.: 0,0103 μg/L) și benzo[a]antracenului (max.: 0,0080 μg/L).

Analiza sedimentelor prelevate din lacul Beleu a scos în evidență prezența POPs în toate probele analizate. În cazul PCO și PCB, valorile CMA (ΣPOPs)[1] nu au fost depășite, cu excepția probei DS89 (ΣPCO = 0,1111 mg/kg). Analiza HAP în probele de sedimente a exclus prezența 1-metilnaftalinei, 2-metilnaftalinei și trifenilenului. Cantități nedetectabile sau mai mici decât valorile CMA pentru ΣHAP (0,1000 mg/kg) și benzo[a]pirenului (0,0200 mg/kg) au fost înregistrate în probele de sedimente: DS73, DS75, DS77, DS89, DS84, DS80, DS85, DS82 și DS83. Pentru trei probe de sedimente ΣHAP a fost apropiată de valoarea de 0,1000 mg/kg: DS74 (0,0872 mg/kg), DS72 (0,0903 g/kg) și DS76 (0,0996 mg/kg). În aceste probe, valoarea pentru CMA a benzo[a]pirenului nu a fost depășită. Conținut mai mare de HAP decât valorile CMA ale ΣPOPs pentru terenuri agricole s-a dovedit a fi în probele DS78 (1,33 ori), DS86 (1,89 ori), DS87 (1,95 ori), DS 79 (2,24 ori), DS88 (8,47 ori) și DS81 (9,00 ori). În plus, depășire a CMA pentru benzo[a]piren s-a înregistrat în cazul probei DS88 – de 3,87 ori. Acest spectru de poluanți poate fi asociat cu activitatea Companiei de extragere a produselor petroliere din zonă. Astfel, pentru a monitoriza evoluția în timp a ΣHAP, în anul 2019 au fost prelevate 15 probe de sedimente, inclusiv, din apropierea sondelor (Figura 3.1). Cantități foarte mici s-au înregistrat de 1-metilnaftalină (proba 9 – 5,6000 μg/kg), 2-metilnaftalină (proba 9 – 6,0000 μg/kg) și benzo[k]fluoranten (probele 1-6 – limita de detecție).

[1] Terenuri agricole: CMA(ΣPOPs) = 0,1 mg/kg
Deșeuri: CMA(ΣPOPs) = 50 mg/kg



Fig. 3.1. Planul de prelevare a probelor din lacul Beleu în anul 2019 (1-15 – puncte de prelevare)

Cel mai mic nivel de poluare cu HAP, pentru care ΣHAP nu depășește CMA (terenuri agricole) a fost identificat în probele 6, 1, 2, 4 și 5, fiind determinat, preponderent, de: fluoren, antracen, fenantren și piren. Pentru alte 10 probe, ΣHAP a depășit valoarea CMA pentru terenuri agricole și a variat de la 0,2282 mg/kg (depășire de circa 2,30 ori) până la 1,0122 mg/kg (depășire de circa 10,10 ori). Ponderea cea mai mare a revenit fluorenului, antracenului, fenantrenului, pirenului și crisenului. În cazul benzo[a]pirenului, concentrația acestuia a depășit CMA pentru două probe: 9 (de 2,00 ori) și 12 (de circa 3,20 ori). Nivelul scăzut al HAP în probele de apă și concentrațiile în creștere în probele de sedimente demonstrează faptul acumulării și depozitării acestora în sedimentele lacului. În plus, comparativ cu rezultatele obținute în precedentele analize, s-a identificat o creștere semnificativă a ΣHAP în sedimentele lacului Beleu (2015 – CMA depășit în 6 probe din 18 (33%), 2019 – CMA depășit în 10 probe din 15 (67%)).

3.2. Amplasamentul depozitului de pesticide organoclorurate din satul Slobozia Mare

La prima etapă de cercetare a amplasamentului depozitului de PCO din satul Slobozia Mare (2013 – 2014) au fost prelevate 6 probe de sol. Cromatogramele obținute la analiza probelor prelevate au scos în evidență prezența a șase PCB (PCB31, PCB52, PCB149, PCB154, PCB138 și PCB180), ΣPCB variind de la 3,5000 µg/kg (DS94) până la 21,4000 µg/kg (DS90). HAP, 1-metilnaftalina, 2-metilnaftalina, acenaftenul, acenaftilenul, fluorantenul, crisenul, indeno[1,2,3-c,d]pirenul și dibenzo[a,h]-antracenul nu au fost identificate în nici o probă. Pentru HAP cuantificate, ΣHAP a variat de la 23,9800 µg/kg (DS91) până la 485,7700 µg/kg (DS94), cele mai mari cote revenindu-le fenantrenului, benzo[k]-fluorantenului, benzo[e]pirenului și pirenului. Pentru probele DS93-DS95, ΣHAP a depășit CMA pentru terenuri agricole de 1,40 (DS95), 1,48 (DS93) și 4,86 (DS94) ori, deși valoarea CMA pentru benzo[a]piren nu a fost depășită pentru nici

o probă. Cele mai mari cantități de poluanți au fost stabilite în cazul PCO, ΣPCO variind de la 0,5326 mg/kg (DS92) până la 9,1529 mg/kg (DS93). În cazul probei DS93, valorile depistate au depășit CMA de circa 91,5 ori, în marea parte, acest conținut fiind determinat de prezența izomerilor DDT, DDD, HCH și p,p-DDE.

Pentru o cercetare detaliată situl Slobozia Mare a fost divizat convențional în 11 sectoare (etapa a doua de cercetare, anii 2015 – 2016). Din 7 sectoare au fost prelevate probe de sol de la adâncimea 0-15 cm, iar din 4 sectoare - de la diferite adâncimi (pentru evaluarea migrării poluanților în profunzimea solului). Total au fost colectate 26 probe. Din pesticidele analizate, aldrinul-R, dieldrinul și endrinul nu au fost identificate în nici o probă, iar heptaclorul și heptacloroepoxidul au fost depistați în cantități mici în majoritatea probelor (max.: 3,2600 µg/kg). Sistematizând rezultatele obținute pentru cele 18 probe prelevate de la adâncimea 0-15 cm, s-a observat că în 10 probe (55,56%) ΣPCO a depășit CMA pentru terenuri agricole de la 1,16 (proba 243) până la 17,50 ori (proba 253), cota cea mai mare revenind izomerilor DDT, DDD, HCH și p,p-DDE (Figura 3.2).

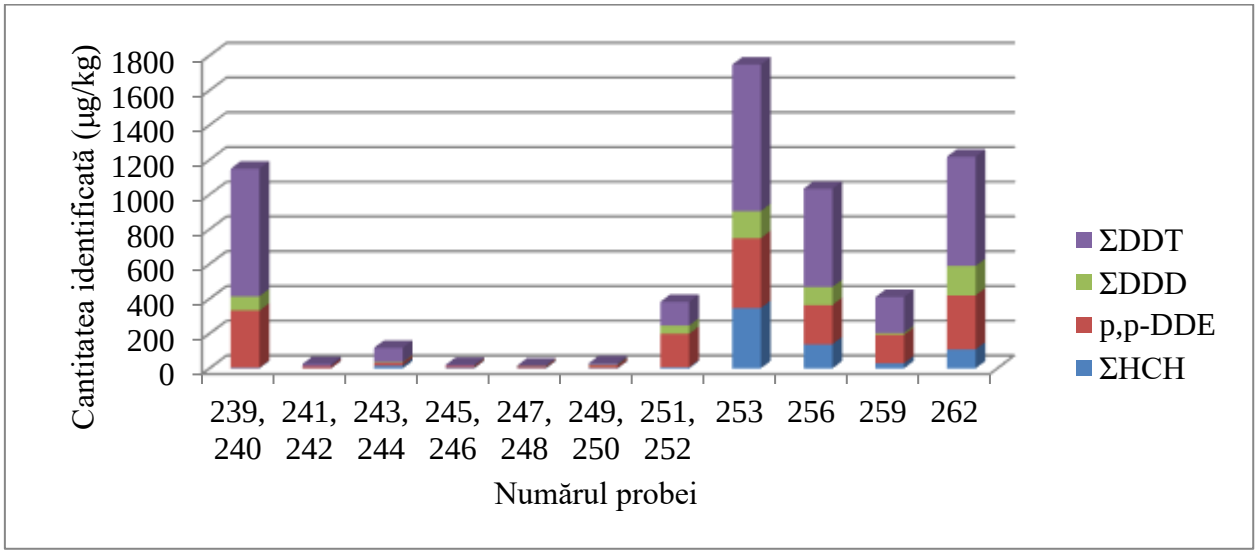


Fig. 3.2. Ponderea ΣDDT, ΣDDD, p,p-DDE și ΣHCH în probele prelevate în etapa II (2015 – 2016) de pe situl Slobozia Mare, adâncimea 0-15 cm

Cele mai mari concentrații obținute corespund zonei rezervorului distrus și imediatei apropieri a lui. Deși, odată cu creșterea distanței de la epicentrul zonei de poluare scad concentrațiile compușilor cercetați, totuși, pe plantația de viță-de-vie alăturată s-au înregistrat depășiri ale CMA pentru terenuri agricole de 1,20 și, respectiv, 3,80 ori (Figura 3.3). Reieșind din rezultatele obținute putem concluziona că, agricultura intensivă dezvoltată anterior s-a caracterizat prin utilizarea excesivă a DDT și HCH în calitate de insecticide.



Fig. 3.3. Distribuția ΣPCO pe situl Slobozia Mare, etapa II, adâncimea 0-15 cm

Eficacitatea acestor compuși este destul de înaltă, dar și impactul lor asupra organismelor este unul de amploare. Nerespectarea cerințelor de securitate în procesul de păstrare și operare a substanțelor vizate duce la migrarea lor pe terenurile adiacente accesibile populației și altor organisme cu ulterioara apariție a diferitor consecințe pentru componenta biotică a ecosistemelor, acestea fiind de multe ori ireversibile. Migrarea pe orizontală a pesticidelor pe situl Slobozia Mare este determinată de: mișcarea maselor de aer, precipitațiile atmosferice, scurgerile de suprafață, formele de relief, vaporizarea, activitatea antropogenă etc. Utilizarea terenurilor adiacente în calitate de terenuri agricole, prelucrarea solului, cultivarea viței-de-vie, consumul roadei obținute constituie factori importanți în migrarea și pătrunderea PCO în organismul uman și nu doar.

Pentru a determina nivelul de pătrundere a PCO în profunzimea solului au fost prelevate probe din epicentrul de contaminare de la adâncimile: 0-15 cm, 50-60 cm și 90-100 cm. Analiza cromatografică a demonstrat o scădere semnificativă a ΣPCO, odată cu creșterea distanței de la suprafața solului (Figura 3.4).

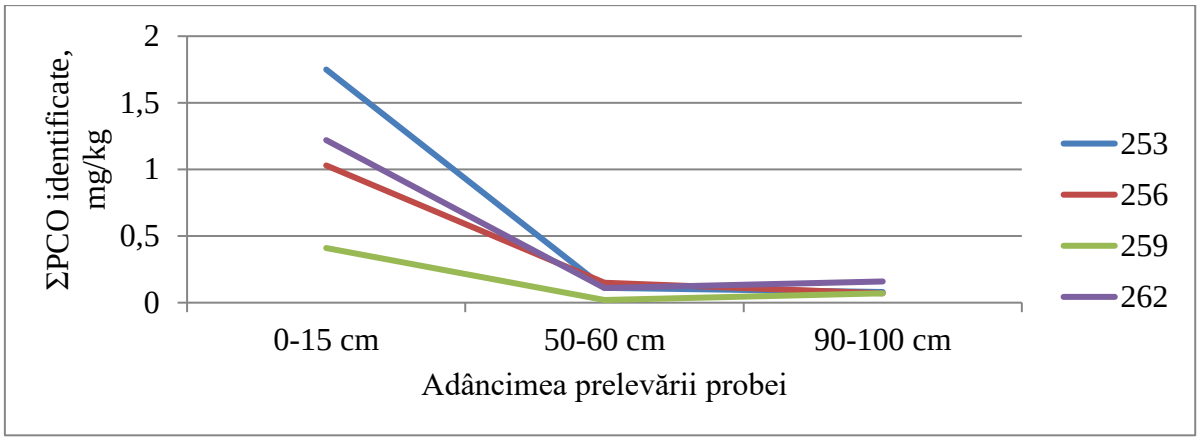


Fig. 3.4. Modificarea pe verticală a ΣPCO în probele prelevate de pe situl Slobozia Mare la etapa a doua (2015 – 2016)

Această scădere este determinată de solubilitatea scăzută a PCO în apă. Pentru probele 259 și 262 se observă o creștere nesemnificativă a ΣPCO. Cauza poate fi intervenția umană și anume: înhumarea pesticidelor sau a materialului pământos contaminat. Caracterizarea gradului de migrare a PCO în profunzimea solului permite de a evalua riscul migrării acestora în apele subterane și de a stabili volumul de sol contaminat, ce necesită de a fi tratat sau remediat. Amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare nu prezintă pericol pentru apele subterane deoarece acestea se află la o adâncime mai mare de 20 m. Deși, față de prima etapă de cercetare, se observă că ΣPCO este în scădere, totuși, rămâne a fi destul de mare și prezintă un pericol real pentru ecosistemul din zonă.

3.3. Amplasamentul stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga

Analiza probei complexe prelevate în anul 2019 de pe amplasamentul stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga a permis identificarea prezenței a 38 PCB cu un număr variat de atomi de clor. După numărul acestora, cea mai mare pondere o au PCB ce conțin 3 și 4 atomi de clor: 26% și, respectiv, 29%. ΣPCB a variat în limite foarte mari: de la 143,6000 mg/kg (PCB18) până la 1671,3000 mg/kg (PCB37). Toate valorile înregistrate pentru acești compuși depășesc CMA (ΣPOPs) stabilită pentru deșeurile toxice. Pentru ΣHAP și ΣPCO s-au obținut valori infime și, ulterior, nu au mai fost cercetate.

Ulterior, pentru studierea detaliată a amplasamentului stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga au fost prelevate 7 probe medii de sol de lângă stația electrică și zona adiacentă (adâncimea 0-10 cm) și o probă de sediment din lacul din apropiere. În cadrul analizelor a fost examinată prezența a 21 PCB ce conțin 3 și 4 atomi de clor (PCB a căror pondere în analiza preliminară a fost mai mare). Cele mai mici cantități de PCB au fost identificate în proba de sediment. Deși migrarea PCB spre lacul din apropiere este favorizată de mișcarea maselor de aer,

scurgerile de suprafață, acțiunea antropogenă etc., totuși, cuantumul transferului este mic datorită distanței relativ mare de la epicentrul de poluare și solubilității scăzute a PCB în apă. ΣPCB triclorurați în proba de sediment constituie 0,0599 mg/kg, iar a celor tetraclorurați - 0,0418 mg/kg. Deși, separat, izomerii tri- și tetraclorurați nu depășesc CMA ΣPOPs pentru terenuri agricole, în sumă, această valoare este depășită. ΣPCB în probele prelevate din apropierea stației de transformatoare variază în limite largi (Figura 3.5).



Fig. 3.5. Distribuția în plan a punctelor de prelevare și ΣPCB obținute, amplasamentul Stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga (perioada 2019 – 2020)

Distribuția în plan denotă un grad extrem de poluare cu PCB în imediata apropiere de stație (de 23,50 ori este depășită CMA pentru ΣPOPs în deșeuri și 11,76 mii ori pentru ΣPOPs pentru terenuri agricole). Odată cu deplasarea de la stație, concentrația ΣPCB scade, dar, oricum depășește CMA pentru terenuri agricole de 4-16 ori. Scurgerile de suprafață, vântul, activitatea umană și accesul animalelor sunt factorii de bază ce determină migrarea PCB din focarul de poluare spre teritoriile adiacente.

Totodată, ponderea izomerilor tri- și tetraclorurați în formarea ΣPCB este diferită. De exemplu: în proba 216 raportul dintre ΣPCB triclorurați și ΣPCB tetraclorurați este de aproximativ 1:2, iar în proba 221 de 6,25:1. În majoritatea probelor prelevate în apropierea focarului de contaminare prevalează PCB tetraclorurați, iar în probele prelevate de la o anumită distanță – PCB triclorurați, fapt ce confirmă migrarea ultimilor preponderent pe cale aeriană. În cazul probei 220 migrarea este determinată, în marea parte, de scurgerile de suprafață. Zona în cauză prezintă un real pericol pentru oameni și alte organisme, deoarece este cu acces liber, se află în imediata apropiere de orașul Ceadîr-Lunga, terenuri agricole și lac, unde oamenii se scaldă și pescuiesc, iar gradul extrem de poluare a acestui sector necesită efectuarea urgentă a măsurilor de ameliorare a situației prin izolare, tratare și remediere.

4. ESTIMAREA RISCULUI DE POLUARE CHIMICĂ CU POLUANȚI ORGANICI PERSISTENȚI

4.1. Elaborarea modelelor conceptuale

Ca rezultat al analizei conținutului de POPs în probele prelevate de pe siturile cercetate s-a stabilit depășirea CMA a ΣPOPs pentru terenuri agricole pentru toate trei sectoare și CMA (ΣPOPs) pentru deșeuri – în cazul sectorului Ceadîr-Lunga. Aceste situri contaminate (lacul Beleu și teritoriul adiacent, ΣHAP_{max} = 1,0023 mg/kg; amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare, ΣPCO_{max} = 9,1529 mg/kg; zona stației de transformatoare din orașul Ceadîr-Lunga, ΣPCB_{max} = 1175,8600 mg/kg) necesită efectuarea evaluării riscului pentru populație și mediu și executarea activităților urgente de lichidare și/sau prevenție a consecințelor poluării cu POPs.

Estimarea riscului de poluare chimică prin elaborarea modelelor conceptuale a scos în evidență sursele și mecanismele primare și secundare de emisie, căile de migrare și de expunere și potențialii receptori. Modelele conceptuale pentru toate trei sectoare din studiu sunt incluse în teză. Pentru toate zonele cercetate este caracteristică emisia primară a poluanților prin volatilizare și dispersie cu ajutorul mișcării maselor de aer. Formele de relief, intensitatea vântului și clima uscată facilitează ridicarea și deplasarea prafului contaminat la distanțe destul de mari. Astfel, POPs se pot răspândi pe pășunile și terenurile agricole adiacente și producția agricolă – care, la rândul lor, devin surse secundare de emisie. Totodată, aerul poluat poate fi inhalat de către organisme, aducând prejudicii sănătății acestora. Un alt mecanism de emisie primară este activitatea antropogenă. În cazul lacului Beleu este specifică activitatea extractivă, iar în cazul siturilor Slobozia Mare și Ceadîr-Lunga – cea agricolă. Ca urmare, terenurile, producția agricolă și utilajele agricole și cele utilizate pentru extragerea produselor petroliere devin surse secundare de poluare.

Pentru sectoarele Slobozia Mare și Ceadîr-Lunga, răspândirea POPs are loc și prin intermediul scurgerilor de suprafață (mecanism primar de emisie). Ca rezultat, apele contaminate inundă terenurile agricole și pășunile adiacente, iar în cazul amplasamentului stației electrice din orașul Ceadîr-Lunga pot pătrunde în bazinul acvatic din apropiere. Lacul Beleu se caracterizează și prin mecanisme primare specifice de emisie precum: infiltrarea în orizonturile subterane și sedimentarea poluanților. De facto, mecanismele specifice lacului Beleu sunt caracteristice majorității bazinelor acvatice similare, favorizând poluarea apelor freatice. Mecanismele secundare de emisie sunt determinate de prezența și natura surselor secundare de emisie a poluanților, care sunt: apele de suprafață contaminate utilizate pentru irigație, activități de prelucrare a terenurilor cu utilaje contaminate, producția agricolă, animalele domestice, apele

subterane, produsele alimentare, sedimentele etc. O parte din receptorii expuși acțiunii primare a poluanților devin, ulterior, surse secundare de contaminare. Migrarea poluanților către receptori are loc prin intermediul aerului, apei, producției alimentare, contactului direct etc. Poluanții pot nimeri în organismul uman prin inhalare, ingestie, cale cutanată, iar în ecosisteme - prin sedimentare, procese de sorbție, solubilizare etc. Deși, principiile de dezvoltare a modelelor conceptuale sunt similare, totuși, aspectul lor se diferențiază datorită particularităților siturilor (relief, sol, bazine acvatice, floră și faună, activitatea umană etc.). Modelele create prezintă situația actuală din teren, dar nu reflectă nivelul de poluare – aspect de importanță majoră. Astfel, pentru o estimare complexă a riscului de poluare chimică, modelul conceptual poate constitui doar o etapă a acestui proces.

4.2. Estimarea riscului de poluare chimică cu pesticide organoclorurate în baza indicilor de risc

Estimarea riscului de poluare chimică cu PCO în baza indicilor de risc a fost efectuată doar pentru amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare. Calculele efectuate în baza algoritmului prezentat în teză au permis obținerea rezultatelor incluse în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Calculul indicelor de risc pentru nivelul de poluare

Nr. de înregistrare	Adâncimea, cm	ΣPOPs, µg/kg	I_p[2]	I_r[3]	I_d[4]	I_{tot}[5]
253	0-15	1750,4180	86,04	62,00	82	78,02
262	0-15	1221,0380	81,72	57,60	82	74,54
239,240	0-15	1150,0750	77,04	55,40	74	69,94
256	0-15	1034,4180	67,66	57,60	82	67,51
259	0-15	412,8880	67,14	47,20	16	50,93
251,252	0-15	384,0960	62,10	54,80	29	53,29
264	90-100	160,2980	56,88	57,60	3	46,32
257	50-60	152,1980	65,17	57,60	0	49,87
243,244	0-15	118,7375	65,17	57,20	29	55,55
254	50-60	111,8380	51,66	62,00	3	45,03
263	50-60	105,0580	51,66	57,60	3	43,71
255	90-100	76,7880	51,66	62,00	3	45,03
258	90-100	68,6680	59,66	57,60	0	47,11
261	90-100	68,2480	59,66	47,20	3	44,59
249,250	0-15	29,9980	44,71	59,40	29	45,98
241,242	0-15	25,3090	44,71	50,60	29	43,34
245,246	0-15	20,9945	38,08	50,40	29	39,96
260	50-60	16,5380	51,66	47,20	3	40,59
247,248	0-15	16,5265	45,05	45,60	29	42,01

[2] Indicii de risc pentru nivelul de poluare
[3] Indicii de risc pentru receptori
[4] Indicii potențialului de dispersie a poluanților
[5] Indicii generali de risc

Totodată, în teză sunt descrise toate etapele de calcul a I_p, I_r, I_d și I_{tot}, cu explicarea valorilor obținute și argumentarea relației „cauză-efect”. După cum se poate observa, probele 253, 262, 239,240 și 256 se caracterizează prin cei mai înalți indici de risc, cu excepția I_r. I_{tot} variază într-un interval destul de mic (de la 67,51 până la 78,02). Valorile obținute sunt determinate de poziția punctelor de prelevare și compoziția calitativă și cantitativă apropiată. Aceste sectoare prezintă un risc înalt de poluare chimică și necesită efectuarea urgentă a măsurilor de izolare și de decontaminare. Valori puțin mai mici ale I_{tot} au fost obținute în cazul probelor 243,244 (I_{tot} = 55,55) și 251,252 (I_{tot} = 53,29). Deși valorile pentru I_{tot}(243,244) și I_{tot}(251,252) sunt apropiate, totuși ΣPCO(243,244) se raportă la ΣPCO(251,252) ca 1:3,23. Acest lucru este determinat de numărul și toxicitatea poluanților identificați, precum și de receptorii expuși. În cazul dat riscul este iminent deoarece aceste 2 sectoare se află pe plantația de viță-de-vie (Figura 4.1).

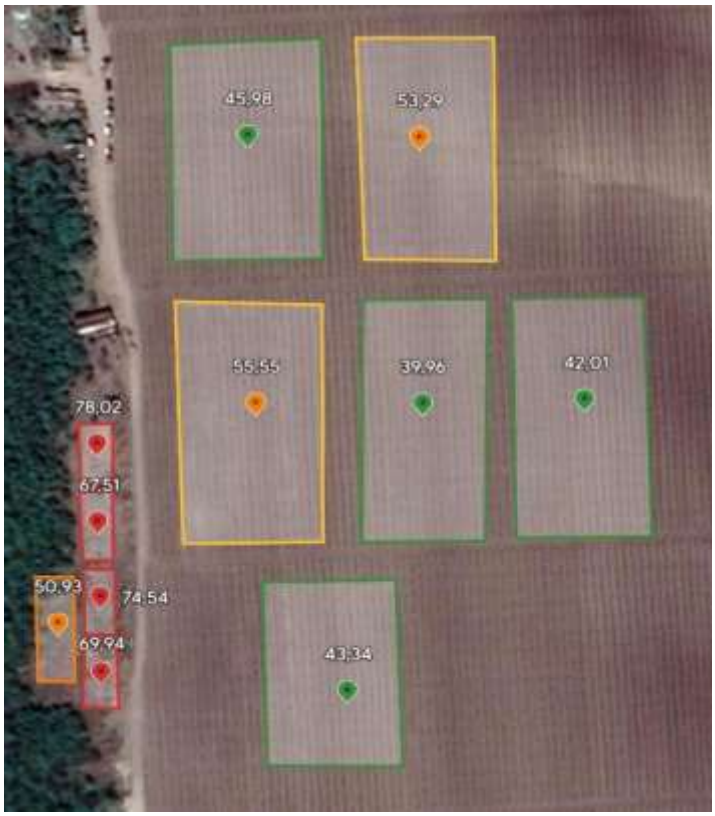


Fig. 4.1. Indicii generali de risc pentru sectorul Slobozia Mare, adâncimea 0-15 cm

Pentru aceste sectoare se recomandă restricționarea accesului și efectuării lucrărilor agricole. Situația poate fi ameliorată prin implementarea diferitor tehnologii de bioremediere. Proba 259 (prelevată din fâșia forestieră de lângă epicentrul de contaminare) se caracterizează printr-un I_{tot} mai mic decât cele examinate anterior, deși ΣPCO este de 412,888 μg/kg, datorită numărului mai mic al receptorilor expuși, distanței până la ei și accesibilității migrării poluanților spre receptori (aportul factorilor de sporire și diminuare a potențialului de dispersie). Restul

probelor prelevate de la adâncimea de 0-15 cm pot fi catalogate ca probe cu stare de calitate admisibilă (ΣPCO este mai mică decât CMA (ΣPOPs) pentru terenuri agricole). I_{tot} variază de la 39,96 până la 45,98, riscul fiind scăzut. În cazul probelor prelevate de la adâncimi mai mari de 15 cm, I_{tot} prezintă cele mai mici valori. Deși, ΣPOPs este mare și distanța până la receptori nu se schimbă semnificativ, totuși, aceste probe se caracterizează prin valori foarte mici ale I_d. Fără intervenția omului, migrarea poluanților poate avea loc doar în profunzime, dar cercetările efectuate arată un grad scăzut de migrare (4,38%-16,5%). Prelucrarea acestor sectoare se va axa pe conservarea sau excavarea și decontaminarea ulterioară a solului poluat. În concluzie, pentru amplasamentul depozitului de PCO din Slobozia Mare se cere efectuarea urgentă a activităților de decontaminare prin diverse metode fizice, chimice și biologice accesibile, dar, obligatoriu, prietenoase mediului. Totodată, până la executarea acțiunilor de decontaminare se recomandă izolarea teritoriului epicentrului pentru a limita accesul oamenilor și animalelor, precum și posibilitatea migrării poluanților din cauza vântului/ maselor de aer și scurgerilor de suprafață.

4.3. Acțiunea toxică a poluanților organici persistenți asupra diferitor organisme

Actualmente, în literatura de specialitate sunt prezentate diverse studii de toxicitate a poluanților organici persistenți asupra diferitor organisme (crustacee, rozătoare etc.), însă în majoritatea din ele se reflectă acțiunea individuală a poluanților. Unul dintre obiectivele prezentului studiu a fost cercetarea acțiunii poluanților din probe reale de sol, prelevate de pe teritoriul RM, asupra diferitor organisme. Practic, toate probele analizate prezintă un spectru foarte larg de poluare, atât calitativ, cât și cantitativ, iar acțiunea sinergică a poluanților poate avea o intensitate cu mult mai mare decât influența individuală a unui anumit contaminant. Totodată, condițiile de habitare a organismelor în diferite ecosisteme sunt determinate de procesele fizice, chimice și biochimice ce au loc în ecosistemele în cauză și care determină compoziția chimică a acestora.

Acțiunea POPs asupra bacteriilor, fungilor, semințelor de dovleac și ovăz

Pentru a cerceta acțiunea POPs asupra unor specii de bacterii, fungi și a semințelor de dovleac și ovăz au fost selectate 10 probe cu ΣPOPs de la <0,5000 μg/kg până la SD-01 (250,0000 mg/kg). În studiul acțiunii POPs asupra bacteriilor și fungilor au fost utilizate 5 culturi de bacterii (*Bacillus subtilis* CNMN BB-01, *Xanthomonas campestris* CNMN-BX-01, *E.carotovora* CNMN-BE-01, *Agrobacterium tumefaciens* CNMN-At-01 și *Corinebaterium miciganense* (13a)) și cinci culturi de fungii (*Aspergillus niger, Alternaria alternata, Botrytis cinerea, Fusarium solani* și *Fusarium oxysporum*). După 48 h de incubare s-a observat că extractele probelor utilizate în cercetare nu au manifestat nici o influență negativă vizibilă asupra culturilor de bacterii. În cazul

culturilor de fungii, diferență a fost observată doar în ceașca Petri ce conținea cultura *Fusarium solani* și extractul obținut din proba DS90. Deci, extractul dat reține creșterea fitopatogenului *Fusarium solani*.

Monitorizarea germinării semințelor și creșterii plantulelor culturilor de dovleac (*Cucurbita pepo L*) și ovăz (*Avena sativa L*) cu măsurarea ulterioară a lungimilor rădăcinilor și plantulelor în ziua a șaptea a permis stabilirea gradul de fitotoxicitate a POPs din probe. Astfel, solul de referință nu a prezentat toxicitate în raport cu semințele de dovleac și ovăz, dimpotrivă, a favorizat creșterea acestora cu 33,31% și, respectiv, 37,53%. Restul solurilor testate nu au prezentat efecte toxice evidente asupra creșterii rădăcinilor de dovleac, cu excepția probei SD-01. Rădăcinile lăstarilor de ovăz au prezentat o sensibilitate mai înaltă, efectul inhibitor fiind vădit (gradul de fitotoxicitate a variat de la 14,54% până la 92,63%). Cel mai înalt grad de toxicitate, ca și în cazul semințelor de dovleac, a prezentat proba SD-01. Astfel, se poate concluziona că POPs în sol pot inhiba funcțiile vitale ale semințelor și pot duce la reducerea sistemului radicular al unor specii de plante. Efectele de inhibare ale funcțiilor vitale ale semințelor și plantelor depind de particularitățile plantelor și gradul de poluare a solului.

Acțiunea toxică a poluanților organici persistenți asupra speciilor Daphnia Magna, râmelor, melcilor de livadă și insectelor

Această etapă de cercetare a fost orientată spre stabilirea nivelului de ecotoxicitate a extractelor apoase de sol pentru diferite organisme (*Daphnia Magna*, melci de livadă, râme și insecte). Din start a fost exclusă influența pH-ului, conductibilității electrice, cadmiului, plumbului și nichelului, valorile obținute practic fiind caracteristice mediilor nepoluate. Rezultatele obținute în cazul speciei *Daphnia Magna* sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Astfel, se poate concluziona că, în cazul speciei *Daphnia Magna*, HAP pot duce la modificarea mișcării și modului de reproducere, iar PCB pot acționa asupra vieții și activității, precum și asupra capacității ei de filtrare a apei. În cantități mai mari, PCB poate determina creșterea gradului de mortalitate. PCO pot avea efect letal asupra speciei *Daphnia Magna*.

Toate exemplarele de râme testate au supraviețuit experimentului, cu excepția râmei din proba $SD\text{-}01_{100}$. Nivelul înalt de poluare a solului cu PCO poate produce efect letal asupra exemplarelor speciei *Eisenia fetida*. În cazul melcilor de livadă *Helix pomatia,* s-a observat că din prima zi a experimentului, aceștia s-au retras în cochilii și și-au menținut starea de repaus pe tot parcursul cercetării (comportament similar situațiilor de pericol și stării de hibernare). La eliberarea exemplarelor testate după finalizarea experimentului, melcii au ieșit din cochilii. Toate exemplarele supuse testării au supraviețuit perioadei de observație. Răspunsul insectelor *Phyllobius urticae* la modificarea proprietăților mediului ambiant a fost cel mai rapid.

Tabelul 4.2. Impactul POPs asupra speciei *Daphnia Magna*

Nr. d/o	Proba	POPs	Observațiile după 24 ore	Observațiile după 48 h (comparativ cu 24 h)
1	Blank 1	ne-poluat	mișcare în tot volumul apei, camerele de incubare cu puiet	aceleași observații
2	Blank 2		mișcare în tot volumul apei, camerele de incubare cu puiet, + 3 pui eți	aceleași observații + încă 3 pui eți
3	SD-01$_{10}$	PCO	toate exemplarele vii, practic inactive, au prezentat semne de viață doar la atingere	aceleași observații
4	SD-01$_{50}$		un exemplar viu, semne de viață doar la atingere	aceleași observații
5	SD-01$_{100}$		efectul letal observat, deja, în primele 12 ore, rata de mortalitate 100%	
6	215$_{10}$	HAP	mișcare în tot volumul apei, stare mai agitată comparativ cu Blank 1	aceleași observații + 6 pui eți
7	215$_{50}$		observație similară probei 215$_{10}$, agitație mult mai evidentă cu mișcări de rotație	aceleași observații + 4 pui eți
8	215$_{100}$		un grad mult mai înalt de agitație, mișcare în tot volumul apei, toate exemplarele vii	aceleași observații + 2 pui eți
9	1612$_{10}$	PCB	mișcare mai puțin activă, exemplarele se mențin în stratul de jos al apei	aceleași observații*
10	1612$_{50}$		activitate scăzută, mișcări limitate la fundul vasului	același comportament, un exemplar a murit*
11	1612$_{100}$		pasivitate foarte înaltă, mișcare doar la fundul paharului	același comportament, 3 exemplare au murit*

* eliminări ale activității biologice, cantitatea direct dependentă de masa de sol analizată

Inițial, acestea erau destul de active, dar, mai târziu, activitatea lor a scăzut brusc. Mortalitatea de 100% a fost înregistrată în probele SD-01 în primele 6 ore de la începerea experimentului. După 24 ore toate insectele erau moarte, cu excepția probei martor. Cercetarea influenței probelor de sol contaminate cu POPs asupra organismelor a scos în evidență nivelul înalt al ecotoxicității acestora, manifestând diverse efecte subletale și/sau letale.

4.4. Acțiunea toxică a pesticidelor organoclorurate asupra faunei edafice

Pentru a examina impactul PCO asupra faunei edafice a fost selectat un fost depozit de pesticide din s. Slobozia-Dușca. În rezultatul analizei probelor și stabilirii numărului și biomasei nevertebratelor colectate s-au obținut rezultatele prezentate în Tabelul 4.3. S-a constatat că ΣPOPs a variat în limite foarte largi: de la 0,6772 mg/kg (zona B, 0 – 10 cm) până la 1011,4120 mg/kg (zona A.1, 0 – 10 cm). Intervalele de adâncime 40-50 cm se caracterizează prin lipsa nevertebratelor, aspect condiționat de particularitățile mediului de viață al organismelor. În cazul zonei A.3, lipsa organismelor a fost stabilită și în intervalul de adâncime 30-40 cm, materialul pământos conținând foarte multe deșeuri de construcție. Compararea datelor pentru intervalul de adâncimi 0-30 cm a evidențiat că, numărul cel mai mic de exemplare este caracteristic zonei A.1, pentru care s-a identificat cel mai înalt grad de contaminare. În același timp, pentru zona dată, pe verticală nu a fost demonstrată dependența directă a numărului de nevertebrate de valoarea ΣPOPs.

Tabelul 4.3. ΣPOPs, numărul și biomasa nevertebratelor în materialul pământos prelevat de pe amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia-Dușca

Zona, lotul, parcela	Adâncimea, cm	ΣPOPs mg/kg	Numărul, exemplare/m^2		Biomasa, g/m^2	
			total[6]	fam. *Lumbricidae*	totală	fam. *Lumbricidae*
Zona A.1, lot cu depozit de pesticide lichidate, partea de jos	0-10	1011,4120	64,0	0	4,8	0
	10-20	212,5194	16,0	0	1,6	0
	20-30	29,0911	48,0	24,0	5,2	4,0
	30-40	9,4355	8,0	0	0,4	0
	> 40	3,3566	0	0	0	0
	Total		**136,0**	**24,0**	**12,0**	**4,0**
Zona A.2, lot cu depozit de pesticide lichidate, partea de mijloc	0-10	126,4738	280,0	24,0	28,8	8,0
	10-20	211,8305	144,0	8,0	36,0	0,4
	20-30	270,0030	16,0	8,0	0,8	0,4
	30-40	32,9533	16,0	0	0,8	0
	> 40	2,4881	0	0	0	0
	Total		**456,0**	**40,0**	**66,4**	**8,8**
Zona A.3, lot cu depozit de pesticide lichidate, partea de sus	0-10	17,4016	112,0	0	6,4	0
	10-20	2,9402	48,0	16,0	6,4	4,8
	20-30	2,0193	8,0	0	0,12	0
	30-40	0,8552	0	0	0	0
	> 30	7,4454	0	0	0	0
	Total		**168,0**	**16,0**	**12,9**	**4,8**
Zona B, lot cu perdele de protecție forestieră de 30 ani (situat la 200 m de focar)	0-10	0,6772	112,0	48,0	15,2	13,8
	10-20	1,1180	144,0	136,0	27,6	27,0
	20-30	0,7237	56,0	32,0	6,6	6,0
	30-40	0,8080	8,0	0	0,4	0
	> 40	0,9282	0	0	0	0
	Total		**320,0**	**216,0**	**49,8**	**47,0**

Acest fapt este datorat concentrării exemplarelor fam. *Lumbricidae*, modului lor de viață și condițiilor meteorologice. Cel mai scăzut nivel de contaminare a fost înregistrat în zona B, numărul maxim de exemplare fiind în intervalului de adâncime 10-20 cm.

Prezența umidității relativ înalte și nivelul mai scăzut al luminii solare față de zona A, a condiționat o incidență mai mare a reprezentanților fam. *Lumbricidae* (67,5%). Aceasta este urmată de reprezentanții fam. *Staphylinidae* (15%). Clasificarea în dependență de modul de nutriție a nevertebratelor colectate a demonstrat că zona A se caracterizează printr-un număr mai mare de fitosaprofagi, numărul maxim detectându-se în partea de mijloc a zonei (272 exemplare), iar în zona B prevalează saprofagii (264 exemplare). Comparând rezultatele obținute, se observă că, numărul și biomasa organismelor ecosistemului solului depinde atât de natura și concentrația substanțelor toxice din sol, cât și de caracteristicile generale ale profilului pedologic.

[6] fam. *Formicidae* nu a fost luată în calcul

4.5. Elaborarea recomandărilor privind metodele de tratare și remediere a siturilor contaminate cu poluanți organici persistenți

Prezentul subcapitol include descrierea algoritmului de elaborare a recomandărilor privind metodele de tratare și remediere a siturilor contaminate cu POPs. Astfel, sunt enumerate și caracterizate activitățile specifice etapelor premergătoare aplicării tehnologiei de remediere, celor de implementare a tehnologiei de decontaminare și a celor ulterioare aplicării tehnologiei de remediere. Reieșind din diversitatea metodelor ce pot fi utilizate în tratarea și/sau remedierea sectoarelor contaminate cu POPs, în teză, sunt descrise principiile de implementare a metodelor folosite în prezent, unele avantaje și dezavantaje ale acestora, precum și particularitățile aplicării lor în dependență de proprietățile fizico-chimice ale xenobioticilor identificați, caracteristicile siturilor cercetate și impactul implementării metodelor selectate asupra mediului. Examinând situația pe sectoarele studiate, se recomandă aplicarea următoarelor metode de tratare și remediere:

- lacul Beleu: metode fizice de blocare hidraulică, metode biologice de biodegradare on-situ, bioremedierea îmbunătățită, măsuri de ajustare organizațională și tehnologică a proceselor de exploatare a resurselor de hidrocarburi din zonă;
- amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare: pentru terenurile agricole – metode biologice de biodegradare in-situ (de exemplu: fitoremedierea), iar pentru epicentrul de contaminare – metode de tratare/ remediere on-situ (etanșarea, oxidarea, biopilele, bioremedierea în straturi preparate sau în vrac);
- amplasamentul stației electrice de tensiune înaltă din orașul Ceadîr-Lunga: pentru epicentrul de contaminare se recomandă excavarea volumului de sol și tratarea acestuia ex-situ sau on-situ prin metode termice sau chimice, realizate în instalații corespunzătoare, sau contractarea prestatorilor de servicii de acest gen. În cazul imposibilității realizării acestor lucrări – aplicarea metodelor fizice de etanșare sau inertizare, care vor izola solul extrem de toxic și vor acorda timp de găsire a resurselor financiare pentru o tratare mai temeinică. Pentru celelalte terenuri se pot realiza lucrări de implementare a biotehnologiilor in-situ.

Deși, în prezent sunt elaborate foarte multe metode de tratare și/sau remediere a solului contaminat cu POPs, precum și diverse programe de simulare a proceselor de depoluare, lipsa reglementărilor legislative și normative, a ghidurilor și instrucțiunilor de implementare, a mecanismelor procedurale și de finanțare, a responsabililor de planificare și executare a lucrărilor, precum și a instituțiilor de control cu indicarea competențelor acestora constituie impedimentele de bază în realizarea proceselor de remediere.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Concluzii generale:

1. Studiul efectuat a evidențiat importanța unei abordări integrate în gestionarea poluanților organici persistenți, subliniind necesitatea monitorizării nivelului de poluare a componentelor de mediu cu POPs și actualizării continue a reglementărilor naționale și internaționale, în conformitate cu noile descoperiri științifice și tehnologice (*capitolul I, pp. 29-37, pp. 45-47*). Deși, RM dispune de o strategie națională și un plan de implementare privind POPs, legislația actuală prezintă lacune semnificative în monitorizarea și gestionarea acestora, în special în ceea ce privește stabilirea limitelor maxime admisibile și aplicarea unor măsuri eficiente de control (*capitolul II, pp. 57-60*). Totodată, cooperarea internațională consolidată este esențială pentru reducerea impactului acestor poluanți asupra ecosistemelor și sănătății umane.
2. Analiza probelor de apă, sedimente și sol din regiunea de sud a RM a evidențiat prezența unor concentrații mari de POPs, în siturile lacul Beleu, Slobozia Mare și Ceadîr-Lunga (*capitolul III, pp. 67-79*). Studiul a demonstrat că poluanții organici persistenți afectează grav ecosistemele și sănătatea umană, prin bioacumulare, biomagnificare și toxicitate ridicată (*capitolul I, pp. 33-37*). Deși, cercetările au evidențiat o înțelegere avansată a efectelor anumitor poluanți, precum DDT și metaboliții săi, s-a remarcat un deficit de cunoștințe privind toxicitatea altor clase de POPs, inclusiv PCB și HAP, subliniind necesitatea unor studii toxicologice suplimentare și monitorizări continue.
3. Cercetările efectuate prin utilizarea modelelor conceptuale de estimare a riscului de poluare chimică și analiza indicilor de risc pentru amplasamentul depozitului de PCO din satul Slobozia Mare au demonstrat complexitatea interacțiunilor dintre POPs și mediul înconjurător (*capitolul IV, pp. 81-96*). Impactul acestora asupra ecosistemelor a fost analizat prin teste experimentale pe bacterii, fungi, plante și nevertebrate, rezultatele indicând diverse efecte, de la alterări subtile la efecte letale (*capitolul IV, pp. 96-109*). Validitatea evaluărilor de risc a fost determinată de implementarea riguroasă a metodologiilor de colectare și analiză a datelor, ceea ce a permis o înțelegere aprofundată a nivelurilor de poluare și a mecanismelor de migrare a poluanților prin sol, apă și atmosferă (*capitolul II, pp. 49-57*).
4. Pe baza cercetărilor efectuate, au fost elaborate recomandări pentru remedierea poluării cu POPs în regiunea de sud a RM (*capitolul IV, pp. 109-119*). Selectarea tehnologiilor de remediere trebuie să fie adaptată gradului de poluare a fiecărui sector, fiind preferate metode termice și chimice pentru zonele cu contaminare ridicată și metode fizice și biochimice pentru cele cu poluare moderată. Studiul subliniază importanța unei abordări sustenabile, care să

minimizeze impactul ecologic al proceselor de decontaminare. De asemenea, evaluarea aprofundată a riscurilor înainte de implementarea tehnologiilor de remediere este esențială pentru asigurarea eficienței acțiunilor întreprinse (*capitolul IV, pp. 81-96*).

5. Diseminarea rezultatelor cercetării în cadrul manifestărilor științifice, publicațiilor, cursurilor universitare și programelor educaționale a demonstrat importanța educării și sensibilizării publicului cu privire la riscurile asociate POPs. Colaborarea eficientă între autorități, experți și comunități este esențială pentru implementarea unor strategii eficiente de prevenție și control al poluării chimice. Informarea populației și dezvoltarea inițiativelor de conștientizare contribuie la promovarea unor comportamente responsabile și la sprijinirea politicilor de mediu, facilitând gestionarea eficientă a POPs în RM.

Recomandări:

1. Având în vedere concentrațiile ridicate de poluanți organici persistenți identificate în sol, sedimente și apă în anumite regiuni din sudul RM, se recomandă realizarea unui inventar exhaustiv al surselor de poluare, inclusiv a celor neautorizate. Această acțiune trebuie urmată de elaborarea și implementarea unui Plan de măsuri pentru estimarea riscului de poluare chimică și reducerea acestuia. Identificarea și cartografierea surselor majore de poluare vor permite o intervenție eficientă și țintită pentru reducerea contaminării și limitarea migrației POPs în mediu.
2. Analiza legislativă a evidențiat lacune în reglementarea și controlul poluanților organici persistenți, în special în stabilirea limitelor maxime admisibile și aplicarea unor măsuri eficiente de decontaminare. Se recomandă elaborarea și adoptarea unui cadru legislativ îmbunătățit care să includă mecanisme clare pentru finanțarea lucrărilor de remediere a zonelor poluate. De asemenea, este necesară desemnarea unor instituții responsabile de planificarea și implementarea măsurilor de remediere, precum și de monitorizarea eficienței acestora, astfel încât să se asigure un proces sustenabil și eficient de reducere a poluării chimice.
3. Datorită riscului ridicat de biomagnificare a POPs și a impactului semnificativ asupra sănătății umane, se recomandă instituirea unui sistem de monitorizare permanentă a conținutului de poluanți organici persistenți în produsele agricole și alimentare comercializate populației, în special în produsele cu un conținut ridicat de grăsimi. Instituțiile abilitate trebuie să implementeze proceduri de control și analiză riguroasă pentru a preveni expunerea populației la acești poluanți și a reduce riscurile asociate consumului de alimente contaminate.
4. Întrucât efectele POPs asupra sănătății umane și ecosistemelor sunt complexe și de lungă durată, este esențială informarea și educarea publicului privind riscurile asociate acestor substanțe. Se

recomandă organizarea de campanii de conștientizare prin intermediul mass-media, precum și integrarea unor conținuturi curriculare în învățământul preuniversitar și universitar pentru a spori gradul de informare privind sursele de contaminare, efectele asupra organismelor și măsurile necesare pentru prevenirea expunerii la acțiunea POPs. Implicarea comunității și a autorităților locale în aceste inițiative poate contribui la îmbunătățirea percepției publice asupra importanței protejării mediului și sănătății.

BIBLIOGRAFIE

1. SPĂTARU, P.; SPÎNU, O.; SPATARU, T. și I. POVAR. Analiza surselor de contaminare a mediului ambiant cu pesticide organice halogenate. *Akademos.* 2017, nr. 1(44), pp. 42-47. ISSN 1857-0461.
2. DUCA, GH.; BOGDEVICH, O.; CADOCINICOV, O. și D. PORUBIN. The Pollution Spectrum of Old Pesticides Storages in Moldova. *Chemistry Journal of Moldova.* 2010, vol. 5, nr. 2, pp. 41-46. ISSN 1857-1727.
3. IVANOVA, A. Conținutul unor pesticide organoclorurate în Abramis Brama L. (Cyprinidae) din Fluviul Nistru. *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții.* 2020, nr. 3(342), pp. 136-142. ISSN 1857-064X. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/130483 [accesat 2025-03-05].
4. GÂRBAN, Z. *Quo vadis food xenobiochemistry*/ Zeno Gârban. – 3rd ed.. – București: Editura Academiei Române, 2018, 588 p. ISBN 978-973-27-2997-7.
5. THAKUR, M. and D. PATHANIA. Chapter 12 - Environmental fate of organic pollutants and effect on human health. In: *Abatement of Environmental Pollutants: Trends and Strategies*. *Elsevier*. 2020, pp. 245-262. ISBN 978-0-12-818095-2. Disponibil: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00012-6 [accesat 2025-03-05].
6. DUCA, GH.; BOGDEVICH, O. și E. NICOLAU. Persistent organochlorine pesticides and their impact on human health. In: *Ecological and environmental chemistry - 2022,* Materialele conferinței, Ed. 7, 3-4 martie 2022. Chișinău: CEP USM, 2022, Ed. 7. vol. I, pp. 194-195. ISBN 978-9975-159-07-4. Disponibil: https://doi.org/10.19261/eec.2022.v1 [accesat 2025-03-05].
7. BARATZHANOVA, G.; FOURNIER, A.; DELANNOY, M.; BAUBEKOVA, A.; ALTYNOVA N. et al. The mode of action of different organochlorine pesticides families in mammalians. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *Elsevier*. 2024, vol. 110, 104514. ISSN 1382-6689. Disponibil: https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104514 [accesat 2025-03-05].
8. SÎRCU, R.; ZAVTONI, M. și I. PÎNZARU. Prevenirea bolilor netransmisibile asociate cu poluarea organismului uman cu poluanți organici persistenți. *Sănătate publică, economie și management în medicină.* 2016, nr. 3, pp. 51-54. ISSN 1729-8687. Disponibil: https://repository.usmf.md/bitstream/20.500.12710/2126/3/PREVENIREA_BOLILOR_NETRANSMISIBILE.pdf [accesat 2025-03-05].

9. Legea pentru aprobarea Strategiei naționale de dezvoltare „Moldova Europeană 2030”, nr. 315 din 17-11-2022. *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, nr. 409-410 (2022), art. 758. ISSN 2587-389X. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=134582&lang=ro [accesat 2025-03-05].
10. *SM SR EN ISO 6468:2007. Calitatea apei. Determinarea unor insecticide organoclorurate, bifenili polichlorurati si clorobenzeni*. Aprobat 22.03.2007. Chișinău: SSM, 2007. 37 p.
11. *SMV ISO 10382:2012. Calitatea solului. Determinarea pesticidelor organoclorurate si a bifenililor policlorurati. Metoda gaz cromatografica cu detectie prin captura de electroni.* Aprobat 28.05.2012. Chișinău: INSM, 2012. 30 p. (actualmente înlocuit cu SM ISO 18475:2024)
12. *ISO 18287:2006 Calitatea solului. Determinarea conținutului de hidrocarburi aromatice policiclice (PAN). Metoda prin cromatografie în fază gazoasă cu detecție prin spectrometrie de masă (GS-MS).* Aprobat 11.06.2018. Chișinău: INSM, 2018. 26 p.
13. CIORNEA, V.; IVANOVA, A.; ZUBCOV, E. și A. ENE. Cromatografia gazoasă cu detector de masă (GC-MS) pentru analize de mediu. În: *Tehnici analitice de înaltă performanță pentru monitorizarea substanțelor toxice din mediu. Ghid metodologic.* Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2021, pp. 142-155. ISBN 978-606-17-1848-1.
14. BOGDEVICH O. și A ENE. Gas chromatography technique in environmental analyses. In: *Instrumental techniques for environmental investigations: methodological guide = Tehnici instrumentale pentru investigații de mediu: ghid metodologic* (Editor - Ene, A.). Iași: Tehnopress, 2015, pp. 89-112. ISBN 978-606-687-233-1.
15. USEPA. *Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program, Risk Assessment and Modeling Overview Document.* Disponibil: https://semspub.epa.gov/work/HQ/189664.pdf [accesat 2025-03-05].
16. *Environmental Risk Assessment: Approaches, Experiences and Information Sources.* European Environmental Agency. 2011. Disponibil: http://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C2/riskindex.html [accesat 2025-03-05].
17. *Directions on how to complete the Transport Canada Aquatic Site Classification System (TCACS) Ranking Form.* Disponibil: https://publications.gc.ca/site/eng/9.905474/publication.html [accesat 2025-03-05].
18. *Federal Approach to Contaminated Sites, Contaminated Sites Management Working Group.* Government of Canada. 1999. Disponibil: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/fcs-scf/B15E990A-C0A8-4780-9124-07650F3A68EA/fa-af-eng.pdf [accesat 2025-03-05].

PUBLICAȚII LA TEZA DE DOCTORAT

1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste internaționale cotate ISI și SCOPUS

1. POSTOLACHI, O.; RASTIMESINA, I.; VORONA, V.; **NICOLAU, E.;** CULIGHIN, E. et al. Dynamics of microbial population in the soil during bioremediation. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie. University of Oradea Publishing Hous*e. 2023, 30 (2), pp. 180-186. ISSN 1224-5119. Disponibil: https://www.bioresearch.ro/2023-2/180-186-AUOFB.30.2.2023-POSTOLACHI.O.-Dynamics.of.microbial.population.pdf [accesat 2025-03-05] (**IF 0,50**).

2. Articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil

2.1. în reviste de categoria B

1. **NICOLAU, E.** Estimarea riscului de poluare chimică cu bifenili policlorurați a stației de transformatoare din orașul Ceadâr-Lunga. *Akademos.* 2024, 2 (73), pp. 58-64. ISSN 1857-0461. Disponibil: https://doi.org/10.52673/18570461.24.2-73.05 [accesat 2025-03-05].

3. Articole în culegeri științifice

3.1. culegeri științifice internaționale (peste hotare)

1. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.** et al. 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. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/64-68_26.pdf [accesat 2025-03-05].

3.2. culegeri științifice naționale cu participare internațională

1. **NICOLAU, E.** Evaluarea concentrației substanțelor PAH și POP în sedimentele din lacul Beleu. In: *Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători.* Materialele conferinței, Ed. 5, 15 martie 2016. Chișinău: Ed. UnAȘM, 2016, vol. 2, pp. 95-100. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/95-100_1.pdf [accesat 2025-03-05].

4. Teze în culegeri științifice

4.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; NICOARA, I.; CULIGHIN, E.; CADOCHNIKOV, O.; **NICOLAU, E.** și M. GRIGORAȘ. 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:* Materialele conferinței, 8-11 septembrie 2020. Kavala, Greece: International Hellenic University, 2020, p. 20. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/20-20_27.pdf [accesat 2025-03-05].
2. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; CADOCHNIKOV, O.; **NICOLAU, E.;** CULIGHIN, E. et al. The study of PAHs and BTEX pollution spectrum of petrol contaminated site: distribution pattern and risk assessment. In: *Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health:* Materialele conferinței, 23-26 septembrie 2020. Galați. Cluj-Napoca, România: Universitatea „Dunarea de Jos", 2020, pp. 12-13. ISBN 978-606-17-1691-3. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/12-13_15.pdf [accesat 2025-03-05].

3. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; NICOARA, I.; CADOCHNIKOV, O.; **NICOLAU, E.** et al. Soil contamination and risks for human health in Low Danube Region. In: *Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health:* Materialele conferinței, 23-26 septembrie 2020. Galați. Cluj-Napoca, România: Universitatea „Dunarea de Jos", 2020, p. 19. ISBN 978-606-17-1691-3. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/19-19_22.pdf [accesat 2025-03-05].
4. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.** et al. Study of POPs polluted sites in Lower Prut region of Republic of Moldova. In: *Environmental Challenges in Lower Danube Euroregion:* Materialele conferinței, 25-26 iunie 2015. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2015, pp. 13-14. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/13-14_16.pdf [accesat 2025-03-05].
5. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E. și **E. NICOLAU.** PAHs analysis in soil and sediments from Lower Prut wetlands. In: *Environmental Challenges in Lower Danube Euroregion:* Materialele conferinței, 25-26 iunie 2015. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2015, p. 14. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/14-14_17.pdf [accesat 2025-03-05].

4.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

1. RASTIMEȘINA, I.; POSTOLAKY, O.; BOGDEVICH, O.; JOSAN (VORONA), V.; **NICOLAU, E.** et al. Microbiological characteristic of soil for the bioremediation of POPs contaminated sites. In: *Ecological and environmental chemistry – 2022:* Materialele conferinței, Ed. 7, 3-4 martie 2022. Chișinău: CEP USM, 2022, Ed. 7, vol. I, p. 178. ISBN 978-9975-159-06-7. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-178.pdf [accesat 2025-03-05].
2. DUCA, GH.; BOGDEVICH, O. și **E. NICOLAU**. Persistent organochlorine pesticides and their impact on human health. In: *Ecological and environmental chemistry – 2022:* Materialele conferinței, Ed. 7, 3-4 martie 2022. Chișinău: CEP USM, 2022, Ed. 7, vol. I, pp. 194-195. ISBN 978-9975-159-06-7. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-194-195_0.pdf [accesat 2025-03-05].
3. BOGDEVICH, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.**; CADOCHNIKOV, O. și M. GRIGORAȘ. Review of the management of POPs contaminated sites in Republic of Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry – 2022:* Materialele conferinței, Ed. 7, 3-4 martie 2022. Chișinău: CEP USM, 2022, Ed. 7, vol. I, pp. 154-155. ISBN 978-9975-159-06-7. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-154-155.pdf [accesat 2025-03-05].
4. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; TEODOROF, L.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.** et al. The study of toxic substances in low Danube region of Republic of Moldova. In: *Achievements and perspectives of modern chemistry:* Materialele conferinței, 9-11 octombrie 2019. Chișinău: Tipografia AȘM, 2019, p. 46. ISBN 978-9975-62-428-2. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/46-46_10.pdf [accesat 2025-03-05].
5. BOGDEVICH, O.; CULIGHIN, E.; CADOCHNIKOV, O.; **NICOLAU, E.** și M. GRIGORAȘ. Inventory of industrial pollution sources of toxic substances in the Republic of Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry – 2017:* Materialele conferinței, Ed. 6, 2-3 martie 2017. Chișinău: Tipografia AȘM, 2017, p. 149. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/149-149a_0.pdf [accesat 2025-03-05].
6. BOGDEVICH, O.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.** și M. GRIGORAȘ. Study of POPs contaminated site for environmental risk assessment and remediation in

Moldova. In: *Ecological and environmental chemistry – 2017:* Materialele conferinței, Ed. 6, 2-3 martie 2017. Chișinău: Tipografia AȘM, 2017, p. 151. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/151-151b.pdf [accesat 2025-03-05].

7. **NICOLAU, E.** Poluarea mediului cu substanțe organice toxice – cauze și consecințe. In: *Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători:* Materialele conferinței, Ed. 3, T, 10 martie 2014. Chișinău: Ed. UnAȘM, 2014, p. 26. ISBN 978-9975-4257-2-8. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/26-26_2.pdf [accesat 2025-03-05].

4.3. în alte culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

1. RASTIMESINA, I.; POSTOLACHI, O.; VORONA, V.; **NICOLAU, E.** și O. BOGDEVICH. The assessment of phytotoxicity of soil contaminated with persistent organic pollutants. Online. In: *Book of Abstracts, 25th International Symposium "The Environment and the Industry" E-SIMI*: Materialele simpozionului, 29 septembrie 2022, pp. 60-61. ISSN-L 1843-5831. Disponibil: https://www.simiecoind.ro/wp-content/uploads/2022/10/22.pdf [accesat 2025-03-05].
2. BOGDEVICH, O.; ENE, A.; NICOARA, I.; CADOCHNIKOV, O.; CULIGHIN, E. și **E. NICOLAU.** The Characteristic of Sediments Quality of Natural Lakes in Lower Prut Region. In: *MONITOX International Symposium "Deltas and Wetlands":* Materialele simpozionului, 15-17 septembrie 2019. Tulcea: C.I.T.D.D. Tulcea, 2019, p. 44. ISBN 978-606-8896-00-7. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/44-44_13.pdf [accesat 2025-03-05].

4.4. în alte culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

1. BOGDEVICH, O.; RASTIMEȘINA, I.; POSTOLAKY, O.; CULIGHIN, E.; **NICOLAU, E.** et al. Environmental frendly solutions for the remediation of POPs contaminated sites. In: *Advanced materials to reduce the impact of toxic chemicals on the environment and health"*, Ed. 1, 21 septembrie 2023, Chișinău. Chișinău: CEP USM, 2023, Ed. 1, p. 42. 42. ISBN (pdf) 978-9975-62-559-3. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/42_36.pdf [accesat 2025-03-05].
2. BOGDEVICH, O.; CULIGHIN, E. și **E. NICOLAU.** POPs contaminated sites in Republic of Moldova: problem definition and possible solutions. In: *Ecological chemistry ensures a healthy environment,* 16 septembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Institute of Chemistry, 2022, p. 17. ISBN (pdf) 978-9975-62-466-4 (PDF). Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-17_8.pdf [accesat 2025-03-05].

5. Alte lucrări științifice

5.1. lucrări științifico-metodice

1. DUCA, GH.; LUPAȘCU, T.; **NICOLAU E.** și E. CULIGHIN. Chimia ecologică și a mediului/ Univ. de Stat „Dimitrie Cantemir", Inst. De Chimie, Școala Doctorală: Științe Chimice și Tehnologice. – Chișinău: US „Dimitrie Cantemir", 2018 (Tipogr. „Biotehdesign"). – 250 p.; tab., ISBN 978-9975-108-51-5.
2. DUCA, GH. și **E. NICOLAU.** Chimia ecologică a apei. Standarde de calitate / Univ. de Stat „Dimitrie Cantemir", Inst. de Chimie, Școala Doctorală: Științe Chimice și Tehnologice. – Chișinău: US „Dimitrie Cantemir", 2018 (Tipogr. „Biotehdesign"). – 75 p.: tab., ISBN 978-9975-108-58-4.

ADNOTARE

Nicolau Elena „Estimarea riscului de poluare chimică cu substanțe organice persistente în districtul hidrografic Dunăre-Prut și Marea Neagră din regiunea de sud a Republicii Moldova și elaborarea recomandărilor de remediere”, teză de doctor în științe chimice, specialitatea 145.01. Chimia ecologică, Chișinău, 2025.

Structura tezei: prezenta lucrare include introducerea, patru capitole, concluzii generale, recomandări și referințe bibliografice (243 titluri). Teza conține: 120 de pagini de text de bază, 36 anexe, 39 figuri și 24 tabele. Rezultatele obținute au fost publicate în 22 lucrări științifice: 2 lucrări științifico-metodice, 4 articole și 16 rezumate la conferințe. Teza este scrisă în limba română.

Cuvinte-cheie: poluanți organici persistenți, pesticide organoclorurate, hidrocarburi aromatice policiclice, bifenili policloruraţi, estimarea riscului de poluare chimică, remediere.

Scopul lucrării - studierea riscului de poluare chimică cu substanțe organice persistente a DH DPMN din regiunea de sud a RM și elaborarea recomandărilor pentru remedierea teritoriilor contaminate.

Obiectivele cercetării: studiul POPs și analiza cadrului legislativ și normativ în domeniul gestionării acestora; analiza probelor prelevate din DH DPMN din regiunea de sud a RM; elaborarea modelelor conceptuale de estimare a riscului de poluare chimică cu POPs și calcularea indicilor de risc, testarea acțiunii POPs asupra diferitor organisme; elaborarea recomandărilor pentru remedierea siturilor contaminate cu POPs; diseminarea rezultatelor cercetării în rândul comunității academice și publicului larg.

Noutatea și originalitatea științifică: constă în dezvoltarea, în premieră, a modelelor conceptuale de estimare a riscului de poluare chimică pentru siturile lacul Beleu, Slobozia Mare și Ceadîr-Lunga și determinarea indicelui de risc total pentru situl Slobozia Mare, utilizând datele toxicologice ale poluanților identificați. Stabilirea evoluției în timp a ΣPOPs în componentele de mediu în condițiile specifice regiunii de sud a RM și elaborarea recomandărilor eficiente de remediere pentru siturile cercetate. Modelarea testelor ecotoxicologice și identificarea comportamentului și toleranței speciilor în contextul poluării specifice a solului și bazinelor acvatice din sudul RM.

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea problemei impactului POPs asupra componentelor de mediu constă în fundamentarea metodologiilor complexe de estimare a riscului de poluare chimică cu POPs, fapt ce a condus la elaborarea recomandărilor eficiente de diminuare a riscului asociat POPs pentru siturile cercetate, pentru utilizarea lor ulterioară de către autoritățile publice locale, instituțiile din domeniu, precum și alți factori de decizie.

Semnificația teoretică: s-au dezvoltat metode ample și inovatoare pentru estimarea riscului de contaminare cu POPs. Metodele elaborate pot fi ajustate și aplicate în cazul altor categorii de poluanți, precum și pentru elaborarea diferitor ghiduri metodologice de estimare a riscurilor de poluare chimică. Rezultatele obținute vor suplini bazele de date privind nivelul de poluare a teritoriului RM cu POPs.

Valoarea aplicativă: rezultatele obținute au permis formularea concluziilor privind răspândirea, migrarea și transformarea POPs în mediul ambiant. Metodologia de estimare a riscului prezentată permite clasificarea siturilor poluate și efectuarea activităților de remediere în ordinea priorității lor. Informațiile reflectate în teză prezintă interes pentru factorii de decizie, organizațiile de mediu, specialiștii în domeniu, cercetători, studenți și, chiar, populația de rând.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele au fost discutate în cadrul ședințelor comune cu reprezentanții ONG-urilor în domeniu și Ministerului Mediului din RM; au fost utilizate în scrierea a două lucrări științifico-metodice și la elaborarea a 5 cursuri universitare.

АННОТАЦИЯ

Николау Елена «Оценка риска химического загрязнения стойкими органическими веществами в Дунайско-Прутском и Черноморском бассейне юга Республики Молдова и разработка рекомендаций по рекультивации загрязненных территорий», диссертация на соискание степени доктора химических наук, специальность 145.01. Экологическая химия, Кишинэу, 2025г.

Структура диссертации: работа включает введение, четыре главы, выводы и рекомендации, библиографический список из 243 названий. Диссертация содержит: 120 страниц основного текста, 36 приложений, 39 рисунков и 24 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 22 научных работах, в том числе: 2 научно-методические работы, 4 статьи и 16 тезисов. Диссертация написана на румынском языке.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, хлорорганические пестициды, полиароматические углеводороды, полихлорбифенилы, оценка риска химического загрязнения, рекультивация.

Цель работы – изучение риска химического загрязнения стойкими органическими веществами Дунайско-Прутского и Черноморского басейна южной части Республики Молдова и разработка рекомендаций по рекультивации загрязненных территорий.

Научные задачи: изучение СОЗ и анализ законодательной и нормативный базы в области их управления; анализ проб из Дунайско-Прутского и Черноморского басейна южной части Республики Молдова; оценка риска загрязнений СОЗ и тестирование воздействия СОЗ на организмы и почвенное биоразнообразие; разработка рекомендаций по рекультивации загрязненных СОЗ почв; популяризация результатов исследований.

Научная новизна и оригинальность: впервые представлены концептуальные модели оценки риска химического загрязнения для участков озера Белеу, Слобозия Маре и Чадыр-Лунга и результат оценки общего риска, используя токсикологические данные выявленных загрязнителей. Исходя их полученных результатов и специфических условий южного региона Республики Молдова были определены эффективные меры рекультивации загрязненных СОЗ участков. Моделирование экотоксикологических тестов выявило характеристики поведения и толерантности видов в условиях специфического загрязнения почвы и водоемов на юге Республики Молдова.

Полученные результаты способствуют решению важной научной проблемы воздействия СОЗ на компоненты окружающей среды и заключаются в обосновании комплексных методик оценки риска химического загрязнения СОЗ. Это привело к разработке эффективных рекомендаций по снижению риска, связанного с СОЗ, для исследуемых объектов и их последующего использования местными органами государственной власти, учреждениями, а также лицами, принимающими решения.

Теоретическое значение: были разработаны обширные и инновационные методы оценки риска загрязнения СОЗ. Разработанные методики могут быть адаптированы и применены к другим категориям загрязняющих веществ, а также для разработки различных методических пособий по оценке рисков химического загрязнения. Полученные результаты дополняют базы данных об уровне загрязнения территории Республики Молдова СОЗ.

Прикладное значение: Полученные результаты позволили сформулировать выводы по распространению, миграции и трансформации СОЗ в окружающей среде. Представленная методология оценки риска позволяет классифицировать загрязненные участки и проводить мероприятия по их рекультивации в порядке их приоритетности. Полученные данные представляют интерес для лиц, принимающих решения, экологических организаций, специалистов, исследователей, студентов и населения.

Внедрение научных результатов: полученные результаты обсуждались с представителями НПО и Министерства Окружающей Среды и были использованы для написания двух научно-методических работ и в разработке пяти университетских курсов.

ADNOTATION

Nicolau Elena „Risk estimation of the chemical pollution by persistent organic substances in the Danube-Prut and Black Sea hydrographic district in the southern region of the Republic of Moldova and the development of the recommendation for the remediation", doctoral thesis in chemical sciences, specialty 145.01. Ecological Chemistry, Chisinau, 2025.

Structure of the thesis: this paper includes the introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliographic references from 243 titles. The thesis contains: 120 pages of main text, 36 appendices, 39 figures and 24 tables. The obtained results were published in 22 scientific works, including: 2 scientific-methodical works, 4 articles and 16 conference abstracts. The thesis is written in Romanian.

Key words: persistent organic pollutants, organochlorinated pesticides, polyaromatic hydrocarbons, polychlorobiphenyls, risk estimation of chemical pollution, remediation.

The aim of work is a study of the risk of chemical pollution by persistent organic substances in the Danube-Prut-Black Sea hydrographic basin in the southern part of the Republic of Moldova and development of recommendations for the remediation of contaminated areas.

Research objectives: the study of POPs and the analysis of the legislative and normative framework in the field of their management; the analysis of the samples from the Danube-Prut and the Black Sea hydrographic district in the southern region of the Republic of Moldova; risk estimation of chemical pollution with POPs; testing the impact of POPs on different organisms; recommendation development for the remediation of POPs contaminated soil; dissemination of research results.

Scientific novelty and originality: consists in the development, for the first time, of conceptual models for chemical pollution risk estimation of Beleu Lake, Slobozia Mare and Ceadir-Lunga sites and total risk index determination for the Slobozia Mare site, using toxicological data of the identified pollutants. Establishing the evolution over time of ΣPOPs in environmental components under the specific conditions of the southern region of the Republic of Moldova and developing effective measures for the remediation of POPs contaminated sites. Modeling ecotoxicological tests and identifying the behavior and tolerance of species in the context of specific pollution of soil and water basins in the southern Republic of Moldova.

The obtained results contribute to the solution of an important scientific problem: the obtained results contribute to solving the problem of the POPs impact on environmental components, consists in substantiating complex methodologies for estimating the risk of chemical pollution with POPs, which led to the development of effective recommendations for reducing the risk associated with POPs for the researched sites, for their subsequent use by local public authorities, institutions in the field, as well as other decision-makers.

Theoretical significance: Extensive and innovative methods have been developed to estimate the risk of POPs contamination. The developed methods can be adjusted and applied in the case of other categories of pollutants, as well as for the development of different methodological guidelines for estimating the risks of chemical pollution. The obtained results will supplement the databases regarding the level of POPs pollution of the territory of the Republic of Moldova.

Applicative value: the obtained results allowed the formulation of conclusions regarding the POPs fate in the environment. The presented risk estimation methodology allows the classification of polluted sites and the implementation of remedial activities in order of their priority. The information reflected in the thesis is of interest to decision-makers, environmental organizations, specialists in the field, researchers, students and even the general population.

The implementation of scientific results: were discussed during joint activities with representatives of non-governmental organizations and the Ministry of Environment of the Republic of Moldova and were used in the writing of two scientific-methodical works and development of 5 university courses.

NICOLAU ELENA

ESTIMAREA RISCULUI DE POLUARE CHIMICĂ CU SUBSTANȚE ORGANICE PERSISTENTE ÎN DISTRICTUL HIDROGRAFIC DUNĂRE-PRUT ȘI MAREA NEAGRĂ DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA ȘI ELABORAREA RECOMANDĂRILOR DE REMEDIERE

145.01. CHIMIE ECOLOGICĂ

Rezumatul tezei de doctor în științe chimice

Aprobat spre tipar: 06.03.2025
Hârtie ofset. Tipar digital.
Coli de tipar: 10

Formatul hârtiei: A4
Tiraj: 35 exemplare
Comanda nr.

S.C. Dira-AP SRL
mun. Chișinău, bd. Moscova bd., 17/1, of. 6, MD-2068