

ESTIMAREA RISCULUI DE POLUARE CHIMICĂ CU BIFENILI POLICLORURAȚI A STAȚIEI DE TRANSFORMATOARE DIN ORAȘUL CIADÂR-LUNGA

CZU: 547.621/622:504.054

DOI: <https://doi.org/10.52673/18570461.24.2-73.05>Cercetător științific **Elena NICOLAU**E-mail: elena.nicolau@sti.usm.mdORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7947-9506>

Institutul de Chimie, USM

ESTIMATION OF THE RISK OF CHEMICAL POLLUTION WITH POLYCHLORINATED BIPHENYLS OF THE TRANSFORMER STATION IN THE CITY OF CIADÂR-LUNGA

Summary. The paper presents the results of the study of the content of polychlorinated biphenyls in soil and sediment samples taken from the high-power transformer station in the city of Ciadâr-Lunga, as well as the impact of these contaminants on different organisms. Chromatographic analysis established the presence of polychlorinated biphenyls in all analyzed samples, Σ BPC ranging from 143.6 mg/kg to 1671.3 mg/kg. Polychlorinated biphenyls showed various side effects on the tested organisms: from unobservable (species *Eisenia fetida* and *Helix pomatia*) to lethal (species: *Daphnia magna* and *Phyllobius urticae*).

Keywords: polychlorinated biphenyls, risk assessment, impact on organisms.

Rezumat. În lucrare sunt prezentate rezultatele studiului privind conținutul de bifenili policlorurați în probele de sol și sedimente prelevate de la stația de transformatoare de putere mare din orașul Ciadâr-Lunga, precum și impactul acestor contaminanți asupra diferitor organisme. Prin analiza cromatografică s-a stabilit prezența bifenililor policlorurați în toate probele analizate, Σ BPC variind de la 143,6 mg/kg până la 1671,3 mg/kg. Bifenilii policlorurați prezintă diverse efecte adverse asupra organismelor testate: de la neobservabile (speciile *Eisenia fetida* și *Helix pomatia*) până la letale (speciile: *Daphnia magna* și *Phyllobius urticae*).

Cuvinte-cheie: bifenili policlorurați, estimarea riscului, impact asupra organismelor.

INTRODUCERE

Bifenilii policlorurați (BPC) constituie xenobiotici organici cu un grad de clorurare cuprins în limitele 18,79 – 71,10%. Din cei 209 izomeri atestați în prezent, circa 150 de reprezentanți sunt identificați în mediul ambiant [1]. Utilizarea frecventă a bifenililor policlorurați este determinată de proprietățile fizico-chimice caracteristice pe care le posedă: stabilitate chimică înaltă, constante dielectrice foarte mari, conductivitate termică și capacitate de lubrifiere ridicată, au calități adezive și plastifiante, sunt neinflamabili și neexplozivi. Aceste însușiri au condiționat utilizarea BPC, preponderent, în calitate de lichide izolante și de răcire în diferite transformatoare și condensatoare care și astăzi sunt în uz [2].

Deși, actualmente, producerea, procesarea, distribuția și utilizarea BPC sunt interzise în multe state, inclusiv în Republica Moldova, totuși, ei continuă să fie utilizați în instalațiile de putere și în alte tipuri de utilaj al sistemului electroenergetic (transformatoare, condensatoare, baterii etc.), fiind potențiale surse de contaminare a componentelor de mediu. Analiza emi-

siilor bifenililor policlorurați în Republica Moldova a demonstrat că de la transformatoarele de generare, de transport și de distribuție a sistemului energetic se elimină circa 4.537 kg BPC/an, iar pierderile lor prin scurgere ating valoarea de 9,790 t BPC/an. Aceste valori nu sunt totuși absolute, deoarece lipsesc datele privind emisiile de bifenili policlorurați de la condensatoarele și transformatoarele ce se află în proprietatea consumatorilor. Totodată, cantități mari de BPC se înregistrează în exploatarea vehiculelor grele (> 3,5 t/an), a autobuzelor, la producerea varului etc. [3].

Bifenilii policlorurați, împreună cu pesticidele organoclorurate, dioxinele, hidrocarburile aromatice policiclice și alți xenobiotici, sunt incluși în anexele Convenției de la Stockholm privind Poluanții Organici Persistenti, adoptată în anul 2001 în cadrul Programului Organizației Națiunilor Unite pentru Mediu (în vigoare din anul 2004). Ei fac parte din grupul poluanților organici persistenti care se caracterizează prin persistență în mediu, liposolubilitate, toxicitate înaltă și bioacumulare în organismele umane și animale, preponderent, în țesuturile adipoase. Prezența

acestora în componentele de mediu, în produsele alimentare, în diverse organisme și țesuturi este confirmată de cercetările efectuate atât la nivel național, cât și internațional [3-8].

Toxicitatea izomerilor BPC este foarte variată. Izomerii non-orto substituiți (nr. 77, 81, 126 și 169) au cel mai ridicat nivel de toxicitate, izomerii mono-orto substituiți (60, 105, 110, 114, 118, 156, 157, 167) au o toxicitate moderată, iar ceilalți 197 de reprezentanți sunt relativ netoxici. Efectele majore ale acțiunii BPC se resimt la nivelul sistemului endocrin, în special, la nivelul ficatului, dar ei pot avea și alte efecte adverse asupra organismelor [2; 9-12].

Capacitatea înaltă de adsorbție a BPC pe diverse particule favorizează migrarea lor la distanțe de zeci și sute de kilometri de la locul utilizării, acești compuși fiind identificați în regiunile montane și polare, locuri unde nu au fost utilizați niciodată [1; 7; 13; 14]. Existența BPC în formă adsorbită în componentele de mediu condiționează stabilitatea lor la acțiunea luminii, agenților de oxidare, la procesele de hidroliză, precum și la biodegradarea microbiologică. Se estimează că din 100 de tulpini de microorganisme capabile să metabolizeze compușii policlorurați, doar 5 tulpini pot prezenta rezultate pozitive în biodegradarea BPC [15]. Spre exemplu: degradarea anaerobă a bifenililor policlorurați sub influența tulpinii bacteriene *Dehalococcoides ethenogenes* 195 are loc prin declorinarea reductivă a acestora, preponderent în pozițiile meta- și para- [16]. Astfel de degradare este caracteristică în sedimentele de fund, în apele subterane, în masele de sol de la adâncime etc., precedând degradările aerobe ulterioare [17-20].

Procesele aerobe de transformare a bifenililor policlorurați sunt mai complexe și diversificate. În funcție de tulpinile implicate și condițiile de biodegradare se pot obține produși precum: acizi pentadienici, acizi clorobenzoici, metanal, acid piruvic etc. În unele ca-

zuri se pot obține și bifenilpolioli clorosubstituiți – compuși cu toxicitate similară BPC [21-23].

Deși există numeroase studii privind prezența BPC în factorii de mediu și impactul lor asupra organismelor, totuși, rezultatele obținute nu sunt suficiente pentru descrierea completă a problemei, în special la nivel național. Estimarea riscului de poluare chimică cu BPC, la nivel local, ar permite conștientizarea problemei și realizarea activităților concrete de remediere a sectoarelor poluate, precum și asigurarea securității ecosistemelor și sănătății oamenilor.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru estimarea riscului de poluare chimică cu BPC a fost selectată stația de transformatoare de putere mare și teritoriul adiacent situat la periferia orașului Ciadâr-Lunga. Pericolul acestei zone este determinat de un șir de factori, printre care: întreținerea necorespunzătoare a echipamentului electric, amplasarea în centura orașului, existența unei resurse acvatice în apropiere, accesul liber în zona poluată etc. (figura 1).

Inițial, în scopul evaluării nivelului de contaminare a sitului selectat a fost prelevată o probă complexă de sol din imediata apropiere a stației. Ulterior, pentru studierea detaliată a zonei au fost recoltate 7 probe medii de sol de la adâncimea de 0-10 cm și o probă de sedimente. În laborator, probele au fost uscate, mărunțite, cernute (prin site cu diametrul ochiului de 1 mm) și omogenizate. Extracția a fost efectuată cu ajutorul amestecului de hexan și acetona în raport de 1:1. Procesul de extracție a fost asistat de microunde (300 W), în două reprize a câte 10 minute. Spectrul BPC în extractele separate, concentrate și purificate a fost determinat utilizând tehnica cromatografiei de gaze cu detector cu captare de electroni (GC-ECD), iar parametrii sistemului sunt prezentați în tabel.

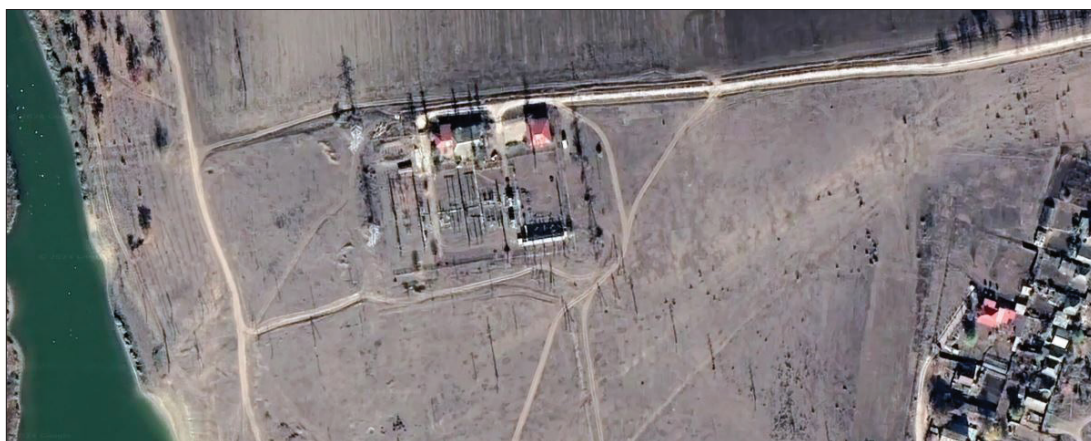


Figura 1. Stația de transformatoare de putere mare de la periferia orașului Ciadâr-Lunga.

Sursa: <https://earth.google.com/web/@45.6859692,28.43391345,76.13154678a,79929.62388773d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>

**Parametrii de operare a sistemului cromatografic
Agilent 6890 (GC-ECD) utilizat în analiza bifenililor policlorurați**

Elementele sistemului	Parametrii sistemului cromatografic Agilent 6890 cu detector micro ECD
Injector	Seringă manuală
Cameră de injecție	Split/splitless inlet; split 5:1, 2 μl, inlet temperatura de 300 °C
Coloană	HP-5: 30 m lungime, 320 μm diametru intern, 0,25 μm grosimea stratului de adsorbție, temperatura maximă 325 °C
Gaz	Helium, 1,4 ml/min. cu viteza medie de 30 cm/s, flux constant
Cuptor	Temperatura inițială: 100 °C (1 min.) până la 200 °C cu viteza 20 °C/min., reținerea 2 min.
	Etapa a doua: 200 °C până la 280 °C cu viteza 10 °C/min., reținerea 2 min.
Detector	⁶³ Ni μECD, 320 °C, N ₂ gaz, 60 ml/min.
Prelucrarea informației	Soft ChemStation

Analizele probelor au fost orientate spre determinarea calitativă și cantitativă a BPC prezenți în probe, utilizând pentru calibrare mixul de Araclor. Pentru asigurarea relevanței analizelor a fost utilizată metoda standardului intern: amestec de triclorobifenil (CAS # 15862-07-4, PCB-29) și decaclorobifenil (CAS # 2051-24-3, PCB-209) dizolvați în hexan (concentrația fiecăruia fiind de 1 μg/ml hexan).

Toți solvenții, standardele interne și gazele utilizate au avut un nivel înalt de puritate. Etapele analizelor cantitative și calitative au fost realizate în conformitate cu procedurile operaționale interne, documentele normative și ghidurile metodologice în domeniu (SMV ISO 10382:2008, EPA 8082A, EPA 3500) [24-27].

Estimarea riscului de poluare chimică a fost realizată prin elaborarea modelului conceptual al amplasamentului, analiza proceselor primare de emisie, surselor secundare și complementare de emisie, căilor de migrare și de expunere, precum și a receptorilor expuși riscului [28-30]. Impactul bifenililor policlorurați a fost evaluat prin observarea în timp a comportamentului diferitor organisme plasate în mediul extractului apos al unei probe de sol poluate cu BPC.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Analiza probei complexe de sol de la stația de transformatoare de putere mare din orașul Ciadâr-Lunga a permis identificarea prezenței a 38 de bifenili policlorurați cu un număr variat de atomi de clor: 11 reprezentanți cu 4 atomi de clor; 10 – cu trei atomi de clor; 7 – cu 5 atomi de clor; câte 4 – cu 2 și 6 atomi de clor și câte unul – cu 7 și 8 atomi de clor. Astfel, ponderea cea mai mare a fost obținută în cazul bifenililor tetra- și triclorurați, ΣBPC variind în limite foarte mari: de la

143,6 mg/kg (PCB18) până la 1671,3 mg/kg (PCB37). Valorile înregistrate depășesc concentrațiile maxime admisibile pentru ΣPOP stabilite pentru deșeurile toxice (50 mg/kg) de la 2,87 până la 33,43 ori, iar pentru terenurile agricole (0,1 mg/kg) – de 1436 și, respectiv, 16713 ori. Cu toate că sunt în număr mai mic și în cantitate mai mică, o parte din ceilalți reprezentanți depășesc concentrațiile maxime admisibile ale ΣPOP atât pentru deșeuri, cât și pentru terenuri agricole. Rezultatele obținute au scos în evidență un grad extrem de poluare a amplasamentului respectiv cu bifenili policlorurați.

Cercetările ulterioare au fost orientate spre studiul detaliat al migrării xenobioticilor la distanță și impactului lor asupra organismelor. În acest scop, au fost prelevate 7 probe de sol de lângă stația de transformatoare și zona adiacentă (distanța maximă de la stație – 30 de metri), precum și o probă de sedimente din lacul aflat în apropierea stației (distanța de la stație până la lac este de circa 200 de metri). Studiul a fost orientat spre identificarea calitativă și cantitativă a 21 de BPC, ce conțin în structură 3 și 4 atomi de clor (PCB a căror pondere în analiza preliminară a fost mai mare).

Rezultatele obținute au demonstrat prezența BPC în toate probele analizate, cele mai mici valori fiind înregistrate în cazul probei de sediment. Faptul dat se explică prin distanța relativ mare de la epicentrul de poluare până la rezervorul acvatic (circa 280 m) și solubilitatea scăzută a BPC în apă. Deși acești doi factori limitează migrarea bifenililor policlorurați pe orizontală, totuși, anumite cantități ajung până la rezervorul acvatic în urma vaporizării și transportării acestora condiționate de mișcarea maselor de aer, precum și a scurgerilor de suprafață, acțiunii antropice, dar și din cauza altor factori.

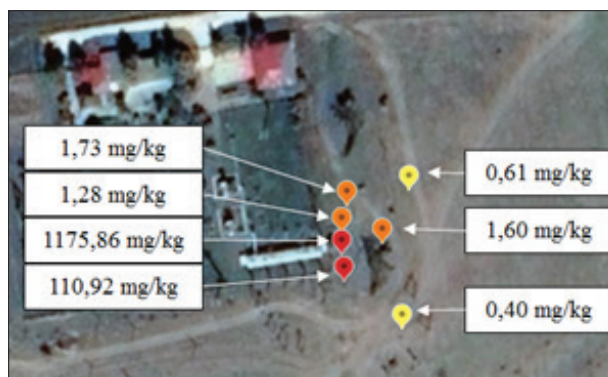


Figura 2. ΣBPC identificați în probele prelevate de la stația de transformatoare din orașul Ciadâr-Lunga.

ΣBPC triclorurați în proba de sediment constituie 0,0599 mg/kg, iar a celor tetraclorurați este de 0,0418 mg/kg. Deși, separat, izomerii triclorurați și tetraclorurați nu depășesc concentrațiile maxime admisibile pentru terenuri agricole, totuși, suma lor este mai mare decât 0,1 mg/kg, probei fiindu-i atribuit calificativul „poluare slabă”. Probele prelevate din apropierea stației de transformatoare au arătat o poluare variată cu bifenili policlorurați (figura 2). Distribuția în plan denotă un grad extrem de poluare cu BPC în imediata apropiere de stație (de 23,5 ori este depășită CMA pentru ΣPOP în deșeuri toxice și de 11,76 mii de ori pentru ΣPOP pe terenuri agricole). Odată cu îndepărtarea de la stație, ΣBPC se micșorează, dar, oricum, depășește CMA pentru terenuri agricole de 4-16 ori. Factorii de bază ce determină transportarea bifenililor policlorurați din focarul de poluare spre teritoriile adiacente sunt migrarea pe pantă a acestor poluanți în urma scurgerilor de suprafață, cauzate de căderea precipitațiilor, vânt, acțiunea antropică și prezența animalelor.

Aportul izomerilor tri- și tetraclorurați în formarea ΣBPC identificați pe acest amplasament este completamente diferit, variind de la 1:2, până la 6,25:1. În majoritatea probelor prelevate în apropierea focarului de contaminare prevalează bifenili tetraclorurați, iar în probele prelevate de la o anumită distanță – bifenili triclorurați, fapt ce confirmă migrarea acestora din urmă preponderent pe cale aeriană. Pentru una dintre probe, migrarea este determinată, în mare parte, de scurgerile de suprafață.

Examinarea detaliată a stației de transformatoare de putere mare din orașul Ciadâr-Lunga și a teritoriului adiacent a permis elaborarea modelului conceptual al amplasamentului prezentat în figura 3. Pentru acest sector sunt caracteristice emisia primară a poluanților prin activitatea antropică, volatilizarea și dispersia cu ajutorul mișcării maselor de aer (vântului), precum și scurgerile de suprafață.

Activitatea umană, intensitatea vântului și clima uscată favorizează ridicarea prafului împreună cu con-

taminanții din stratul superior al solului și deplasarea poluanților la distanțe destul de mari. Astfel, bifenili policlorurați se pot răspândi și depune pe pășunile și terenurile agricole adiacente, pe utilajele și producția agricolă. Totodată, răspândirea la distanță a BPC poate avea loc în procesul căderii excesive a precipitațiilor (ploiilor torențiale). În acest caz, apele contaminate pot inunda terenurile agricole și pășunile din preajmă, pot pătrunde în bazinul acvatic din apropiere.

Sursele complementare de emisie sunt determinate de prezența și natura surselor secundare de emisie a poluanților. Aici sunt incluse: apele de suprafață, pășunile și terenurile agricole, activitățile de prelucrare a terenurilor cu utilaje contaminate, producția agricolă, animalele domestice, produsele alimentare etc.

Se observă că o parte din receptorii expuși acțiunii primare a BPC devin, ulterior, surse secundare de contaminare. Ca finalitate, BPC pot pătrunde în organismul uman și animal prin inhalare, ingestie, cale cutanată, iar în ecosisteme – prin sedimentare, precipitare, solubilizare, precum și alte procese.

La etapa de cercetare a toxicității BPC a fost examinată acțiunea extractului apos al probei cu cel mai înalt nivel de contaminare (ΣBPC = 1175,86 mg/kg) asupra reprezentanților speciilor: de crustacee planctonice *Daphnia magna*, de râme *Eisenia fetida*, de melci de livadă *Helix pomatia* și de insecte *Phyllobius urticae*.

Suplimentar, în scopul excluderii altor influențe adverse, pentru extractele obținute din diferite cantități de sol poluat (10 g, 50 g și 100 g) au fost determinate valorile pH-ului, conductibilității electrice, conținutului de cadmiu, plumb și nichel, acestea fiind în limitele admisibile. Prezența BPC în extractele apoase a fost confirmată prin cromatografie cu gaze, observându-se o dependență directă a concentrației poluanților depistați de masa de sol luată în cercetare.

Înregistrarea observațiilor influenței extractelor apoase asupra *Daphniei magna* a fost efectuată după 24 și, respectiv, 48 de ore. În proba de control, pe în-

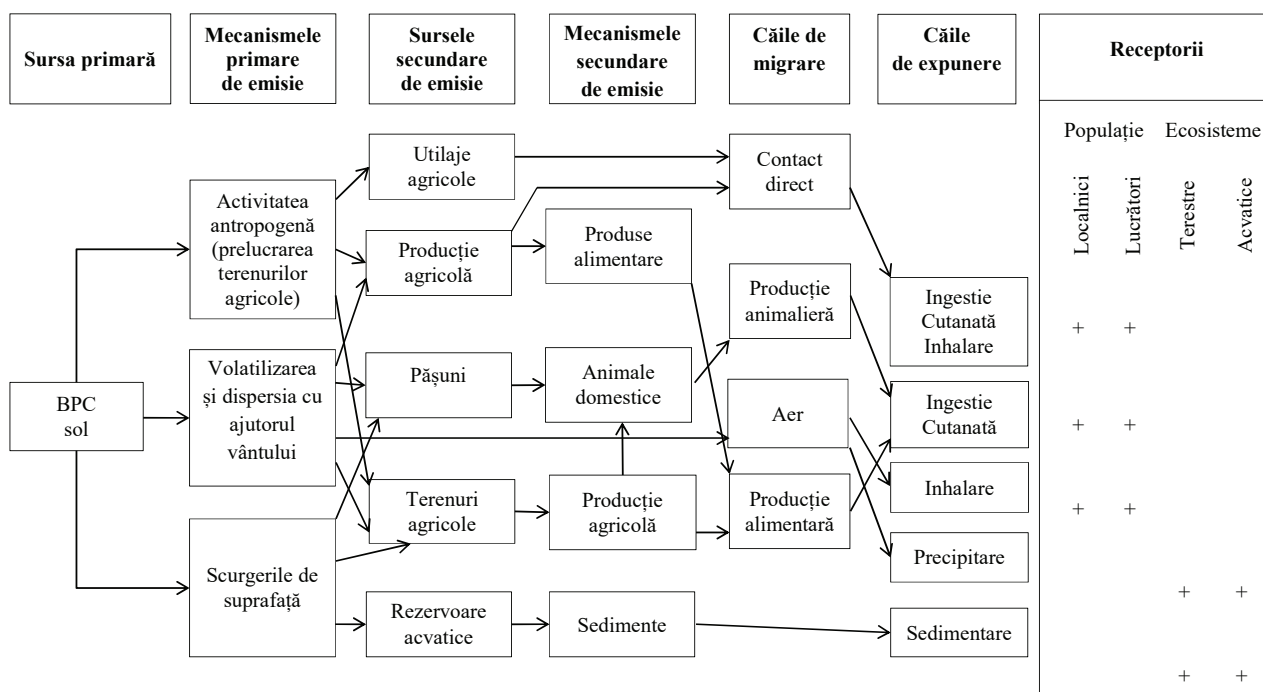


Figura 3. Modelul conceptual de estimare a riscului de poluare chimică a stației de transformatoare din orașul Ciadâr-Lunga.

treaga perioadă a experimentului, toate exemplarele au fost vii, se mișcau în întregul volum al apei, camerele de incubare fiind cu puiet. Aceeași situație s-a atestat și în proba Blank 1. În proba Blank 2, la fel, toate exemplarele erau vii și se mișcau în întregul volum al apei, doar că au început să eclozeze. După 24 de ore erau 3 puieti, iar după 48 de ore – 6 puieti.

În extractul apos obținut din 10 g de sol, pe parcursul întregii perioade de observare, toate exemplarele au fost vii. Comparativ cu proba de control, exemplarele de *Daphnia magna* se mișcau mai puțin activ, aflându-se doar în stratul de jos al apei. La fundul paharelor de laborator s-au observat eliminări ale activității biologice a exemplarelor studiate, a căror cantitate a crescut odată cu masa de sol supusă extracției. Probabil că bifenilii policlorurați prezenți în extracție acționează asupra capacității crustaceelor de a filtra apa. Organismele testate nu au eclozat.

În extractul obținut din 50 g de sol poluat, după 24 de ore, toate exemplarele erau vii, fără eclozare, activitatea era scăzută, mișcările erau limitate la fundul vasului. Observațiile după 48 de ore nu au arătat schimbări esențiale în comportamentul a 4 exemplare (față de 24 de ore), al cincilea exemplar fiind mort.

În cazul extractului apos obținut din 100 g de sol contaminat, după 24 de ore, s-a observat o pasivitate foarte înaltă a exemplarelor testate, acestea aflându-se la fundul paharului. Un exemplar eclozase 6 puieti. După 48 de ore, doar 2 exemplare mature din 5 erau vii. Se poate concluziona că bifenilii policlorurați ac-

ționează asupra vieții și comportamentului speciei *Daphnia magna* și capacității lor de filtrare a apei.

Observațiile asupra exemplarelor de râme și melcilor de livadă au fost realizate timp de șapte zile. Pe întreaga perioadă a experimentului, râmele evaluate s-au aflat în mediul contaminat, supraviețuind experimentului și neprezentând influențe vădite. Mortalitate de 0% s-a înregistrat și în cazul melcilor de livadă. 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, aceștia au ieșit din cochilii – dovadă a supraviețuirii perioadei de experimentare.

Răspunsul insectelor *Phyllobius urticae* la modificarea proprietăților mediului ambiant a fost cel mai rapid. Inițial, la plasarea insectelor în mediile de observație, acestea erau active și se deplasau atât pe pereții vasului, cât și pe pluta improvizată. Ulterior, activitatea lor a scăzut brusc, iar după 12 ore a fost înregistrată o mortalitate de 100% pentru toate cele trei extracțe.

Studierea impactului BPC prezenți în probele de sol de la stația de transformatoare din orașul Ciadâr-Lunga asupra diferitor organisme scoate în evidență toxicitatea înaltă a acestora și demonstrează necesitatea stringentă a efectuării măsurilor de decontaminare și/sau remediere a zonei.

Având în vedere specificul metodelor de tratare a deșeurilor toxice și de remediere a sectoarelor contaminate cu poluanți organici persistenți, inclusiv bifenilii policlorurați, precum și avantajele și dezavantajele

aplicării acestora, este recomandabil pentru zona dată aplicarea unui complex de metode, în funcție de factorul de mediu și nivelul de contaminare.

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 se recomandă aplicarea metodelor fizice de etanșare sau inertizare, care vor izola solul extrem de toxic și vor acorda timp de găsimă a resurselor financiare pentru o tratare mai temeinică.

Pentru terenurile adiacente se pot realiza lucrări de implementare a biotehnologiilor *in-situ*: bioremedierea îmbunătățită, în straturi preparate sau în vrac, biopilele, fitoremedierea etc. Totodată, ca măsură temporară se poate recomanda efectuarea urgentă a lucrărilor de izolare a sectorului cu conținut sporit de BPC și interzicerea accesului în zonă, pentru a minimiza migrarea acestor contaminanți și afectarea receptorilor expuși riscului.

CONCLUZII

Stația de transformatoare de putere mare din orașul Ciadâr-Lunga prezintă un pericol real pentru oameni și alte organisme. Conținutul de bifenili policlorurați determină o poluare extremă a zonei, înregistrându-se depășiri ale concentrațiilor maxime admisibile pentru terenuri agricole de circa 11,76 mii de ori, iar pentru deșeuri toxice – de 23,5 ori. Impactul xenobioticilor identificați este amplificat de condițiile necorespunzătoare de gestionare a stației și zonei din imediata apropiere (circa 1,4 ha), de condițiile meteorologice și activitățile umane. Acțiunea pe termen scurt a bifenililor policlorurați asupra organismelor este variată, prezentând consecințe de la neobservabile (în cazul speciilor: *Eisenia fetida* și *Helix pomatia*) până la subletale și letale (în cazul speciilor: *Daphnia magna* și *Phyllobius urticae*). Aceste aspecte determină necesitatea includerii acțiunilor de decontaminare și remediere a zonei stației de transformatoare de putere mare din orașul Ciadâr-Lunga în lista priorităților administrației publice locale și factorilor de decizie de nivel național. Selectarea corectă și implementarea eficientă a tehnologiilor de decontaminare și remediere a zonei, precum și neadmiterea poluării ulterioare a acesteia poate asigura sănătatea organismelor și securitatea ecosistemelor.

BIBLIOGRAFIE

1. Jones, K.C., Burnett, V., Duarte-Davidson, R., Waterhouse, K.S. PCBs in the Environment. In: Chemistry in Britain, 1991, 27, 435-438.

2. Zhu, M., Yuan, Y., Yin, H., Guo, Z. et al. Environmental contamination and human exposure of polychlorinated biphenyls (PCBs) in China: A review. In: Science of The Total Environment, 2022, 805, 150270, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150270>

3. Ivanova, A. Poluanții organici persistenti în ecosistemele acvatice ale Republicii Moldova, tz. de doct. în științe biologice, Chișinău, 2014, 148, [online] http://www.cnaa.md/files/theses/20222/58098/ivanova_anastasia_teza.pdf (consultat: 20.03.2024).

4. Helou, K., Harmouche-Karaki, M., Karake, S., Narbonne J.-F. A review of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in Lebanon: Environmental and human contaminants. In: Chemosphere, 2019, 231, 357-368, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.109>

5. Matei, M., Zaharia, R., Petrescu, S.I., Radu-Rusu, C. et al. Persistent Organic Pollutants (POPs): A Review Focused on Occurrence and Incidence in Animal Feed and Cow Milk. In: Agriculture, 2023, 13(4), 873, 17, <https://doi.org/10.3390/agriculture13040873>

6. Saktrakulkla, P. et al. Polychlorinated biphenyls in food. In: Environmental Science & Technology, 2020, 54 (18), 11443-11452, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03632>

7. Haiyuan, Q. Migration mechanism of organic pollutants in national waterbody sediments. In: Journal of Geopography and Geology, 2011, 3, 1, 239-246, doi: 10.5539/jgg.v3n1p239

8. Pleskachevskaya, G.A., Bobovnikova, Ts.I. Gigienicheskaya otsenka zagryazneniya khlorirovannymi bifenilami okruzhayushche sredy. In: Gigiena i sanitariya, 1992, 7-8, 16-19.

9. Grimm, F.A. et al. Cardiovascular Effects of Polychlorinated Biphenyls and Their Major Metabolites. In: Environmental Health Perspectives, 2020, 128, 7, 077008, <https://doi.org/10.1289/EHP7030>

10. Montano, L. et al. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Environment: Occupational and Exposure Events, Effects on Human Health and Fertility. In: Toxics, 2022, 10, 365, <https://doi.org/10.3390/toxics10070365>

11. Djordjevic, A.B. et al. Endocrine-disrupting mechanisms of polychlorinated biphenyls. In: Current Opinion in Toxicology, 2020, 19, 42-49, <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2019.10.006>

12. Pessah, I.N., Lein, P.J., Seegal R.F. et al. Neurotoxicity of polychlorinated biphenyls and related organohalogenes. In: Acta Neuropathol, 2019, 138, 363-387, <https://doi.org/10.1007/s00401-019-01978-1>

13. Daly, G.L., Wania, F. Organic contaminants in mountains. In: Environmental science and technology, 2005, 39(2), 385-398.

14. Wania, F., Mackay, D. Peer Reviewed: Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. In: Environmental Science and Technology, 1996, 30, 390A-396A.

15. Ulakhovich, N.A. Khimiya v ekologii: Uchebnoe posobie, Kazan': Kazanskiy (Privolzhskiy) federal'nyy universitet, 2013, 58, [online] <https://core.ac.uk/download/pdf/197367825.pdf>

16. Field, J.A., Sierra-Alvarez R. Microbial transformation and degradation of polychlorinated biphenyls. In:

Environmental Pollution, 2008, 155, 1, 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.10.016>

17. Chun, S.C. et al. Mycoremediation of PCBs by *Pleurotus ostreatus*: Possibilities and prospects. In: Applied Sciences, 2019, 9, 19, 4185, 1-9, [online] <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/19/4185> (consultat: 21.02.2024).

18. Kaur, P., Monga, D., Singh, B. Chapter 13 - Microbes as natural degraders of polychlorinated biphenyls. In: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants. Woodhead Publishing, 2021, 129-139, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00013-4>

19. Ilori, M.O., Robinson, G.K., Adebuseye, S.A. Degradation and mineralization of 2-chloro-, 3-chloro- and 4-chlorobiphenyl by a newly characterized natural bacterial strain isolated from an electrical transformer fluid-contaminated soil. In: Journal of Environmental Sciences, 2008, 20, 10, 1250-1257, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62217-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62217-2)

20. Abramowicz, D.A. Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment. In: Environmental health perspectives, 1995, 103, 5, 97-99, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.95103s497>

21. Rezek, J., Macek, T., Mackova, M., Triska, J. Plant metabolites of polychlorinated biphenyls in hairy root culture of black nightshade *Solanum nigrum* SNC-90. In: Chemosphere, 2007, 69, 8, 1221-1227, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.090>

22. Buckman, A.H. et al. Biotransformation of polychlorinated biphenyls (PCBs) and bioformation of hydroxylated PCBs in fish. In: Aquatic Toxicology, 2006, 78, 2, 176-185, <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.02.033>

23. Xiang, Y., Xing, Z., Liu, J. et al. Recent advances in the biodegradation of polychlorinated biphenyls. In:

World J Microbiol Biotechnol, 2020, 36, 145, <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02922-2>

24. SMV ISO 10382:2008. Calitatea solului. Determinarea pesticidelor organoclorurate și a bifenililor policlorurați. Metoda gaz cromatografică cu detecție prin captura de electroni.

25. Method 8082a. Polychlorinated biphenyls (PCBs) by gas chromatography, [online] <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/8082a.pdf> (consultat: 21.02.2024).

26. Method 3500c. Organic extraction and sample preparation, [online] <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3500c.pdf> (consultat: 21.02.2024).

27. Bogdevich, O., Ene, A. Gas chromatography technique in environmental analyses. [ed.] Antoaneta Ene. Instrumental techniques for environmental investigations: methodological guide = Tehnici instrumentale pentru investigații de mediu: ghid metodologic. s.l. : Iași: Tehnypress, 2015, 89-112.

28. EPA Region 10, Supplemental Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund, EPA 910-R-97-005. s.l. : Prepared by: US EPA Region 10 Office of Environmental Assessment Risk Evaluation Unit, June 1997, [online] <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009AL7.PDF?Dockey=P1009AL7.PDF> (consultat: 21.02.2024).

29. Federal Approach to Contaminated Sites, Contaminated Sites Management Working Group. Government of Canada, 1999, [online] <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/fcs-scf/B15E990A-C0A8-4780-9124-07650F3A68EA/fa-af-eng.pdf> (consultat: 21.02.2024).

30. Bogdevich, O., Ene, A., Cadochnikov, O., Culighin, 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, 64-68, [online] https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/108636 (consultat: 21.02.2024).



Tatiana Vatavu. *Compoziție cu flori (Iriși)*, 2016, tehnică mixtă, 400 × 1000 mm.