CZU: 574.5:543.3:504.5 https://doi.org/10.59295/mabt2026.39

METODE AVANSATE DE EVALUARE A POLUĂRII ȘI DEPOLUĂRII DE SUBSTANȚE EMERGENTE A SISTEMELOR ACVATICE NATURALE

Vladislav BLONSCHI, Viorica GLADCHI, Elena BUNDUCHI, Angela LIS

Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat

În prezentul studiu sunt caracterizați patru indicatori utilizați la evaluarea poluării și autopurificării mediului acvatic natural și metodele de determinare a acestora. Doi indicatori standardizați la nivel internațional pentru sistemul de monitoring al calității apelor: *consumul biochimic de oxigen* și *consumul chimic de oxigen*. Alți doi indicatori, nestandardizați, dar care evaluează poluarea/depoluarea din perspectiva realizării compoziției chimice a apei naturale adecvate valorii biologice de habitare. Parametrul *capacitatea de inhibiție a apelor*, folosit de cca 40 ani în cercetări științifice și de monitorizare a apelor și *parametrul inhibiția*, indicator brevetat în cadrul laboratorului de cercetări științifice „Chimie ecologică și Tehnologii chimice moderne" al Universității de Stat din Moldova. Sunt prezentate avantajele și limitările acestor indicatori în evaluarea calității apelor pe exemplul perioadei de monitorizare, iunie 2024-iulie 2025, a apelor nistrene.

Cuvinte-cheie: poluare, autopurificare, fluviul Nistru, poluanți emergenți, consumul biochimic de oxigen, consumul chimic de oxigen, capacitate de inhibiție, inhibiția apei.

ADVANCED METHODS FOR EVALUATION OF POLLUTION AND DEPOLLUTION OF EMERGING SUBSTANCES OF NATURAL AQUATIC SYSTEMS

Abstract

In the present study, four indicators and their corresponding determination methods are presented for assessing pollution and self-purification processes in the natural aquatic environment. Two of these are internationally standardized indicators used in water quality monitoring systems: biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). The other two indicators are non-standardized but evaluate pollution/depollution from the perspective of achieving a chemical composition of natural water that is suitable for biological habitation. These include the parameter inhibition capacity of water, used for approximately 40 years in scientific research and water monitoring, and the parameter inhibition, an indicator developed and patented within the Scientific Research Laboratory „Ecological Chemistry and Modern Chemical Technologies" of Moldova State University. The advantages and limitations of these indicators in assessing water quality are presented using the example of the monitoring period of the Dniester waters June 2024-July 2025.

Keywords: pollution, self-purification, Dniester River, emerging pollutants, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, inhibition capacity, water inhibition.

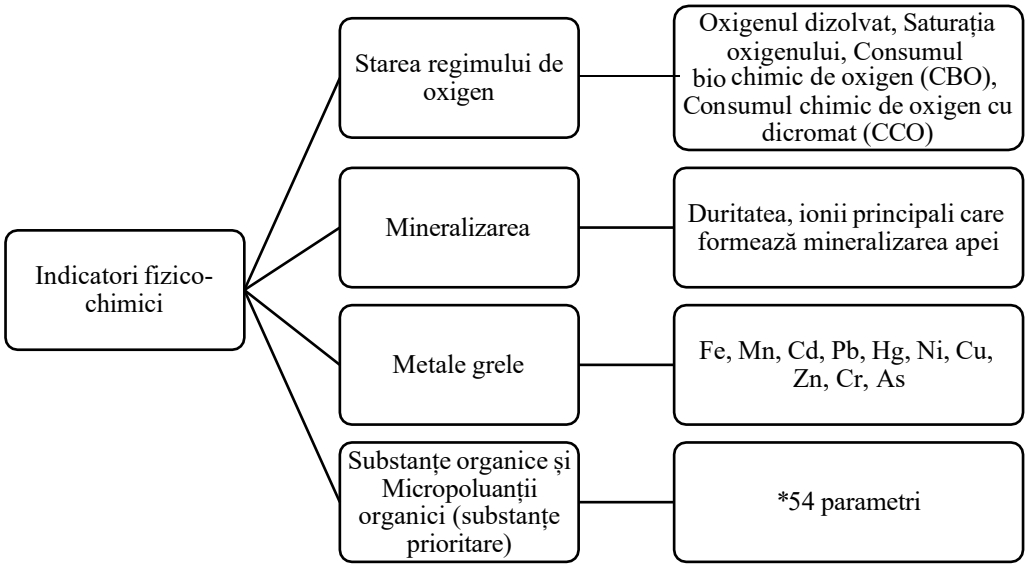
Introducere

În ultimele decenii, progresul rapid al științei a condus la dezvoltarea unor materiale avansate cu proprietăți funcționale superioare, utilizate pe scară largă în domenii precum medicină, electronică, energie, cataliză, biotehnologie și protecția mediului. Procesele de sinteză a acestor materiale implică utilizarea unor materii prime specifice, care pot genera produse secundare sau reziduuri sub formă de emisii lichide, solide sau gazoase cu potențial impact asupra mediului ambiant. În acest context, evaluarea performanței de mediu ca răspuns la sinteza a materialelor avansate devine un element esențial în dezvoltarea unor tehnologii sustenabile, în concordanță cu principiile chimiei verzi [1] și ale Agenției Europene pentru produse chimice [2].

În paralel cu dezvoltarea tehnologică, monitorizarea calității mediului, în special a apelor de suprafață, a evidențiat apariția unei categorii tot mai diverse de contaminanți, cunoscuți sub

denumirea de poluanți emergenți [3]. Acești compuși includ, printre altele, substanțe farmaceutice, compuși proveniți din produse cosmetice și de îngrijire personală, hormoni, aditivi industriali, produse de degradare ale pesticidelor, precum și nanomateriale și alte tipuri de materiale avansate. Deși, în general, acești contaminanți sunt prezenți în concentrații reduse, studiile recente au demonstrat că pot avea efecte ecotoxicologice semnificative asupra hidrobionților și pot perturba procesele de autopurificare a ecosistemelor acvatice [4-9].

Prezența poluanților emergenți în apele de suprafață evidențiază limitările sistemelor tradiționale de monitorizare a calității apei, care se bazează în principal pe indicatori fizico-chimici convenționali (Fig. 1) [10].



** în Anexa 1 a HG nr. 890 din 12.11.2013 sunt specificați 54 parametri, la indicatorul substanțe organice, ce pot fi determinați, dar nici unul nu este reglementat (adică indicator al calității apelor de care nu se ține cont în mod obligatoriu la stabilirea clasei de calitate a apelor de suprafață).*

Figura 1. Indicatorii fizico-chimici privind cerințele de calitate a mediului pentru apele de suprafață aprobat prin Hotărârea Guvernului nr. 890 din 12.11.2013 (modificată prin HG nr. 368 din 29.05.2024)

Acești parametri, deși esențiali pentru evaluarea poluării clasice, nu reflectă în mod adecvat complexitatea contaminării moderne, caracterizată prin prezența unor amestecuri de compuși organici persistenți, bioactivi sau cu proprietăți nano-structurate [11]. Prin urmare, devine necesară dezvoltarea unor noi parametri și metode de evaluare sustenabile a stării ecologice a apelor de suprafață, capabile să caracterizeze prezența, comportamentul și efectele potențiale ale poluanților emergenți.

Calitatea apei, fie pentru utilizare în anumite scopuri (potabile, de recreare etc.), fie valoarea ei biologică, se stabilește, comparând rezultatele măsurărilor cu valori de referință, concentrațiile maxime admisibile (CMA) prevăzute în normativele de calitate [10] sau concentrațiile de fon. Numărul în creștere de substanțe care ajung în sistemele naturale constituie o provocare legată de evaluarea calității apelor, deoarece sunt necesare date cu privire la CMA, metode analitice de determinare, care implică substanțe și aparate. Ținând cont de multitudinea de substanțe ce acced și se formează în apele naturale, este imposibil și chiar nerelevant de a monitoriza fiecare compus în parte.

Fiind mediu de viaţă pentru organismele vii care o populează, apa se găseşte într-o stare dinamic echilibrată prin schimbul de substanţe cu biocenoza acvatică. Astfel, calitatea apei naturale trebuie evaluată și din perspectiva că aceasta este un sistem format din două subsisteme legate între ele, apa și hidrobionții care viețuiesc în ea. Iar fenomenul de poluare al apelor trebuie corelat cu compoziția chimică adecvată valorii biologice de habitare a hidrobionților.

În acest context, evaluarea performanței de mediu a oricărei produceri, sinteze chimice, substanțe, inclusiv sinteza materialelor avansate trebuie să depășească abordările tradiționale bazate exclusiv pe eficiența proceselor sau pe reducerea consumului de resurse. O abordare modernă implică integrarea unor indicatori de impact asupra mediului care să reflecte potențialul de generare, eliberare și acumulare a compușilor emergenți în ecosistemele acvatice [12,13].

Astfel, identificarea, elaborarea și implementarea unor metode moderne de evaluare a performanței de mediu ca răspuns la sintezele noi, chiar dacă acestea se referă la materiale cu proprietăți avansate pentru sănătate și tehnică reprezintă o direcție actuală de cercetare. În același timp, dezvoltarea unor noi parametri pentru evaluarea stării ecologice a apelor de suprafață, care să includă poluanții emergenți proveniți din activități industriale sau din utilizarea produselor de consum, este esențială pentru îmbunătățirea sistemelor de monitorizare și pentru protecția pe termen lung a ecosistemelor acvatice.

Prin urmare, scopul cercetării constă în validarea unei metode complexe de evaluare a stării ecologice a apelor de suprafață, care să ofere o informație/un rezultat cumulat despre impactul individual al poluanților diverși sub aspect calitativ și cantitativ asupra proceselor de autopurificare.

Metode și materiale aplicate

Pentru realizarea părții practice a studiului au fost utilizate următoarele materiale: peroxid de hidrogen (35%) și p-nitrozodimetilanilină, PNDMA (Sigma-Aldrich, Germania), soluții pentru determinarea consumului chimic de oxigen (compania HACH, SUA), alți reagenți cu gradul de puritate chimic pur; spectrofotometre UV-VIS model Selecta UV-2005 și Agilent Cary 60 UV-Vis, lampa cu lumină policromatică DRT-400 în calitate de sursă de iradiere.

Puncte de prelevare a probelor de apă. Probele de apă au fost captate în 7 puncte geografice din bazinul hidrografic al fluviului Nistru (Tab. 1).

Tabelul 1. Coordonatele punctelor de captare ale probelor de apă

Nr. probei	Punct de prelevare / captare	Coordonate geografice		
		Latitudine (N)	Longitudine (E)	Format DMS
1	Nistru – barajul hidrocentralei electrice de la Dubăsari	47.282° N	29.127° E	47°16′52.26″ N 29°07′39.52″ E
2	Nistru (s. Ustia) – gura de vărsare a r. Răut	47.309° N	29.117° E	47°18′32″ N ; 29°07′01″ E
3	Nistru – aval or. Criuleni	47.214° N	29.160° E	47°12′50″ N ; 29°09′36″ E
4	Nistru – gura de vărsare a r. Ichel	47.116° N	29.070° E	47°06′58″ N ; 29°04′12″ E
5	Nistru – or. Vadul lui Vodă	47.090° N	29.076° E	47°05′24″ N ; 29°04′33″ E

Determinarea consumului biochimic de oxigen (CBO_5) [14]. Indicatorul CBO_5 a fost determinat ca diferența dintre conținutul de oxigen dizolvat în ziua prelevării probei și după 5 zile de la recoltare, proba fiind incubată la întuneric și t = 20°C. Concentrația oxigenului dizolvat a fost determinată prin metoda titrimetrică redox iodometria (metoda Winckler).

Determinarea consumului chimic de oxigen cu dicromat (CCO_{Cr}) [15]. A fost folosită metoda spectrofotometrică dezvoltată de compania HACH, care utilizează dicromat de potasiu ca agent oxidant.

Determinarea capacității de inhibiție ($\sum k_i[S_i]$, s^{-1}) [16]. Principiul metodei constă în stabilirea vitezei de decolorare a colorantului 4-nitrozo-N,N-dimetilanilină (PNDMA), sub acţiunea radicalilor •OH, în apă distilată şi în prezenţa adaosurilor de apă naturală. Radicalii •OH sunt generați la fotoliza peroxidului de hidrogen sub acţiunea radiaţiei UV a unei surse artificiale. Capacitatea de inhibiție se calculează conform:

$$\sum_i k_i [S_i] = \frac{V_{tot.}}{V_{a.n.}} \cdot \mathrm{k(PNDMA)} \cdot [\mathrm{PNDMA}]_0 \cdot \left[\frac{W_{a.d.}}{W_{a.n.}} - 1\right]$$

unde: $W_{a.d}$ ($W_{a.n.}$) – viteza inițială de decolorare a PNDMA la fotoliza peroxidului de hidrogen în apă distilată (naturală), mol·L^{-1}·s^{-1}; k_{PNDMA} = 1,25·10^{10} - constanta bimoleculară a vitezei de reacție a colorantului cu radicalii •OH, mol^{-1}·L·s^{-1}; $[PNDMA]_0$ - concentrația inițială a colorantului, mol·L^{-1}; V_{tot} – volumul total al amestecului, mL; $V_{a.n.}$ – volumul de apă naturală în proba analizată, mL.

Determinarea inhibiției apelor de suprafață [17]. Inhibiția probelor de apă s-a determinat cu cu reactivul ABTS (acidul 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin)-6 sulfonic) și s-a calculat cu formula:

$$I = \frac{A_0 - A_{30}}{A_0} \cdot 100\%,$$

unde: I – inhibiția, %; A_0 – absorbanța inițială a soluției; A_{30} – absorbanța soluției după 30 min de incubare.

Rezultate obținute și discuții

Testul consumul biochimic de oxigen (CBO), în special metoda standard de 5 zile, a fost selectat și popularizat de Comisia Regală pentru Eliminarea Apelor Uzate din Regatul Unit, în anul 1908, pentru a măsura poluarea organică din râuri. Acesta a fost elaborat pentru a aborda poluarea din râul Tamisa, durata de 5 zile fiind aleasă pe baza timpului estimat de deplasare a apei râului către mare.

Parametrul CBO utilizat pe scară largă pentru evaluarea poluării organice din sistemele de apă, oferă informații despre capacitatea microorganismelor aerobe de a descompune substanțele organice. Este un test autorizat (ISO 5815:2019) pentru analiza compușilor organici biodegradabili [17]. Deși, produce rezultate bune, are totuși o precizie mai mică, dat fiind faptul că este un test de natură biologică; consumă mult timp și nu poate fi utilizat pentru analize și decizii rapide în cazul unor deversări accidentale; prezența unor substanțe toxice (metale grele) poate inhiba sau omorî bacteriile, ducând la valori fals scăzute; pot avea loc interferențe din cauza NH_3, conducând la supraestimarea încărcăturii organice, deoarece bacteriile pot utiliza oxigenul la oxidarea acestuia.

Deși utilizarea oxidanților chimici pentru analiza apei datează de la mijlocul secolului al XIX-lea (când se folosea preponderent „metoda cu permanganat" propusă de K. Forchhammer în 1849), metoda cu dicromat a devenit preferată datorită capacității sale superioare de a oxida aproape toți compușii organici. Metoda pentru determinarea CCO_{Cr} a fost propusă și dezvoltată, prin contribuțiile a mai mulți cercetători (anii ′40-′50), ca standard pentru evaluarea calității apelor. A devenit o metodă standard pentru analiza apelor uzate, cu îmbunătățiri semnificative pentru interferența clorurilor (anii ′60-′70). În prezent, această metodă este reglementată internațional prin standardul ISO 6060:1989 [18]. Dezavantajele acestei metode constau în aceea că: determină în general 60-70% dintre substanţele organice, unele substanțe organice complexe (hidrocarburile aromatice, piridina) nu sunt complet oxidate prin această metodă; există interferențe din partea unor compuși anorganici (sulfuri, fierul bivalent), obținându-se valori mai

mari decât în realitate; indică poluarea, dar nu pune în evidenţă toxicitatea mediului acvatic pentru hidrobionţi. În funcţie de compoziţia calitativă a substanţelor organice ce determină valoarea CCO_{Cr}, mediul acvatic poate fi netoxic la valori înalte ale CCO_{Cr}, şi, invers, să prezinte toxicitate la valori mici ale CCO_{Cr}.

O soluţie sustenabilă pentru sistemul de monitorizare a calităţii apelor naturale îl constituie indicatorii integrativi (complecși), care relevă dacă compoziţia chimică a apei naturale este adecvată valorii biologice de habitare și nu doar dacă este conformă valorilor de referință pentru CMA. Valorile CMA nu sunt suficient de informative, deoarece au fost și sunt stabilite, mai des, în apa distilată, în condiţii diferite de cele din apele naturale. Acest fapt şi explică lipsa asocierii, frecvent atestate, între CMA şi calitatea apei ca mediu de viaţă pentru hidrobionţi.

Studiile cu referire la identificarea a noi parametri integrativi de evaluare a fenomenului de poluare și a capacității de depoluare au adus în atenția cercetătorilor radicalii $^{\bullet}OH$. Aceștia fac parte din compoziția chimică a apelor, sunt particule cu activitate electrofilă puternică, non-selective față de substraturi și cu constante de viteză ale reacţiilor de interacțiune egale cu cele de difuzie. Astfel pentru evaluarea poluării cu substanțe captori de radicali $^{\bullet}OH$, a fost propus parametrul *capacitatea de inhibiţie* ($\Sigma k_i[S_i]$) [19]. Acesta prezintă constanta efectivă de întrerupere a lanțului radicalic în procesele de oxidare cu participarea particulelor.

După acest indicator, apele sunt împărţite în trei grupe: *ape nepoluate,* $\Sigma k_i[S_i] < 3 \cdot 10^4$ s^{-1}; *ape moderat poluate*, $\Sigma k_i[S_i] = 3 \cdot 10^4$-$3 \cdot 10^5$ s^{-1}; *ape poluate*, $\Sigma k_i[S_i] > 3 \cdot 10^5$ s^{-1}. Este important de menționat că a fost identificată asociere directă între valorile indicatorului şi toxicitatea apei. Coeficientul de corelare dintre parametru și rezultatele biotestelor a fost de peste 0,9 unităţi, atunci când valorile acestuia erau peste $3 \cdot 10^5$ s^{-1}. Un alt avantaj al indicatorului este că poate previziona fenomenul de poluare cu substanțe captori de raducali $^{\bullet}OH$ atunci când acesta nu este încă la scară mare. La fel, indicatorul poate semnala și despre dezvoltarea unor condiţii nefavorabile pentru ambianța comunității acvatice așa ca creșterea concentrației particulelor non-selective – radicalii $^{\bullet}OH$, poluarea radioactivă și perturbarea ciclului biogeochimic al manganului.

Radicalii $^{\bullet}OH$ interacționează cu substanțele organice prin mecanism radical-înlănțuit, ca rezultat conduc la formarea altor particule radicalice cu proprietăți oxidante, care participă la oxidarea poluanților. Această particularitate de mecanism poate conduce la cuantificarea eronată a cantității reale de reducători. Astfel, pentru a depăși această limitare, a fost propus parametrul *inhibiția*. Indicatorul a fost elaborat și brevetat în cadrul laboratorului de cercetări științifice „Chimie ecologică și Tehnologii chimice moderne" al Universității de Stat din Moldova [20]. În metoda propusă cation-radicalul ABTS interacționează cu substanțele reducătoare din apele naturale conform cineticii lente, în care, datorită timpului de interacțiune de 30 minute se produce interacțiunea completă și într-o singură etapă a reducătorilor cu radicalul, iar produsul oxidat, din cauza potențialului de oxidare a cation-radicalului ABTS mai redus comparativ cu radicalii $^{\bullet}OH$, nu mai este antrenat în reacții radicalice. Acest tip de interacțiune, bine studiat, oferă o imagine de ansamblu mai reală a concentrației substanțelor reducătoare. Astfel, mecanismul de interacțiune a radicalului avantajează indicatorul inhibiția față de capacitatea de inhibiție.

În funcție de valoarea *inhibiției* apele se deosebesc după 4 grade de poluare: ape nepoluate ($I < 15\%$), ape poluate moderat ($15\% < I < 55\%$), ape poluate ($55\% < I < 80\%$) și ape poluate puternic ($I > 80\%$).

Pentru a evalua poluarea și capacitatea de diminuare/eliminare a poluării prin autopurificare a apelor nistrene cu cei 4 indicatori discutați mai sus, în perioada anilor 2024-2025, au fost efectuate prelevări de probe de apă, 3 - de pe cursul fluviului Nistru și 2 - la gurile de vărsare ale afluenților Răut și Ichel (Tab. 1). Fenomenele de poluare și autopurificare ale apelor nistrene au

fost monitorizate cu indicatorii: CBO_5 – autopurificarea biologică, CCO_{Cr} – șarja de substanțe organice, inclusiv bionedegradabile, ($\sum k_i[S_i]$) – capacitatea de inhibiție și I – inhibiția.

Intensitatea proceselor de autopurificare biologică, procese dominante în diminuarea concentrației de poluanți în sistemele acvatice, a fost evaluată cu ajutorul parametrului CBO_5. Astfel, indicatorul plasează apele fluviului Nistru în clasele de calitate I – III, cu calificativele de la „foarte bune" la „poluate moderat" (Tab. 2).

Tabelul 2. Valorile CBO_5 (mgO_2/L) și clasa de calitate a apelor în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024	Clasa de calitate	10.10.2024	Clasa de calitate	11.04.2025	Clasa de calitate	02.07.2025	Clasa de calitate
1	5,60	*III*	2,56	*I*	1,76	*I*	1,44	*I*
2	3,68	*II*	2,56	*I*	1,92	*I*	4,16	*II*
3	4,00	*II*	1,28	*I*	2,08	*I*	3,04	*II*
4	3,04	*II*	3,84	*II*	2,88	*I*	2,08	*I*
5	2,56	*I*	2,40	*I*	1,28	*I*	0,96	*I*

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Pe cursul fluviului, pe durata monitorizării, se observă o descreștere ușoară a valorii CBO_5, astfel că pentru a 5-a probă clasa de calitate este I. Acest rezultat indică că autopurificarea biologică nu este interferată de apele afluenților fluviului, râurile Răut și Ichel. Apele afluenților se încadrează în clasele de calitate I și II.

Prin urmare, conform CBO_5, atât apele fluviului Nistru, cât și ale afluenților au fost afectate ușor de activitatea antropică, însă funcționarea ecosistemului acvatic nu a fost influențată, exceptând data de 19.06.2024, când valoarea înregistrată în priza 1 de captare, plasează apele în clasa a III-a de calitate.

Conținutul sumar al substanțelor organice, determinat prin parametrul CCO_{Cr}, indică despre o încărcătură cu aceste substanțe cuprinsă în limitele 10 – 24 mgO/L pentru apele fluviului Nistru (Tab. 3) și 22 – 40 mgO/L pentru apele afluenților.

Conform datelor înregistrate, apele fluviului Nistru se încadrează în clasele de calitate II și III, cu calificativele „bune" și „poluate moderat". Clasele de calitate ale apelor afluenților sunt III și IV, respectiv „poluate moderat" și „poluate".

Tabelul 3. Valorile CCO_{Cr} (mgO/L) și clasa de calitate a apelor în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024	Clasa de calitate	10.10.2024	Clasa de calitate	11.04.2025	Clasa de calitate	02.07.2025	Clasa de calitate
1	14,32	*II*	15,60	*III*	13,44	*II*	15,84	*II*
2	37,81	*IV*	26,90	*III*	26,38	*III*	37,97	*IV*
3	21,99	*III*	14,70	*II*	18,59	*III*	23,77	*III*
4	26,75	*IV*	27,17	*III*	21,62	*III*	26,53	*IV*
5	12,32	*II*	13,15	*II*	10,08	*II*	13,07	*II*

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Datele CCO_{Cr} pentru apa pe cursul fluviului denotă despre impactul apelor râului Răut asupra apelor nistrene, astfel practic la fiecare prelevare (excepție 10.10.2024) clasa de calitate a apelor nistrene se modifica din II în III. Pentru râul Ichel nu a fost atestată nicio influență.

Conform claselor de calitate atribuite apelor fluviului Nistru în baza parametrilor CCO_{Cr} și CBO_5, rezultă că tipul apei „foarte bune" nu este pertinent. Mai mult, după vărsarea râului Răut

în apele Nistrului se înregistrează semne moderate de dereglare a funcționării ecosistemului. Această poluare este atenuată pe cursul fluviului, apele revin la clasa a II-a de calitate.

Diminuarea poluării pe cursul fluviului observată la interpretarea datelor pentru CBO_5 nu indică neapărat despre creșterea intensității proceselor de autopurificare biologică, dimpotrivă, despre o epuizare a lor, deoarece după datele indicatorului CCO_{Cr}, apele devin „încărcate" cu substanțe organice (Tab. 4).

Tabelul 4. Clasa de calitate după valorile CBO_5 (mgO_2/L) și CCO_{Cr} (mgO/L) a apelor în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024		10.10.2024		11.04.2025		02.07.2025	
	CBO_5	CCO_{Cr}	CBO_5	CCO_{Cr}	CBO_5	CCO_{Cr}	CBO_5	CCO_{Cr}
1	*III*	*II*	*I*	*III*	*I*	*II*	*I*	*II*
2	*II*	*IV*	*I*	*III*	*I*	*III*	*II*	*IV*
3	*II*	*III*	*I*	*II*	*I*	*III*	*II*	*III*
4	*II*	*IV*	*II*	*III*	*I*	*III*	*I*	*IV*
5	*I*	*II*	*I*	*II*	*I*	*II*	*I*	*II*

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Diferența de clase de calitate este explicată de faptul că șarja de acești compuși este constituită din substanțe bionedegradabile (nedetectate cu CBO_5).

Evaluarea poluării cu substanțe captori de radicali $^{\bullet}OH$ a relevat că acest tip de poluare, dacă și are loc, este minimizat eficient de către sistemul de autopurificare a apelor nistrene. Valorile capacității de inhibiție fiind, mai des, sub valoarea $3{,}0 \cdot 10^5\ s^{-1}$, limite caracteristice unei poluări ușoare. Măsurările arată la fel că, apele afluenților aduc cu sine o poluare mai mare cu captori de radicali $^{\bullet}OH$ ($5{,}2 \le \Sigma k_i[S_i] \le 9{,}8) \cdot 10^5\ s^{-1}$). Analizând aceleași date se observă o lipsă a impactului încărcăturii apelor afluenților asupra proceselor de autopurificare radicalică ale captorului, fluviul Nistru (Tab. 5).

Tabelul 5. Valorile capacității de inhibiție ($\Sigma k_i[S_i]$, s^{-1}) și gradul de poluare a apelor în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024		10.10.2024		11.04.2025		02.07.2025	
	$\Sigma k_i S_i \cdot 10^{-5}$, s^{-1}	grad de poluare	$\Sigma k_i S_i \cdot 10^{-5}$, s^{-1}	grad de poluare	$\Sigma k_i S \cdot 10^{-5}$, s^{-1}	grad de poluare	$\Sigma k_i S \cdot 10^{-5}$, s^{-1}	grad de poluare
1	4,7	poluare moderată	0,4	poluare ușoară	0,8	poluare ușoară	1,4	poluare ușoară
2	7,9	poluat	1,2	poluare ușoară	6,5	poluat	5,3	poluat
3	5,1	poluat	0,3	poluare ușoară	2,5	poluare ușoară	1,2	poluare ușoară
4	9,8	poluat	5,2	poluat	8,8	poluat	7,0	poluat
5	3,3	poluare moderată	0,2	poluare ușoară	2,8	poluare ușoară	1,1	poluare ușoară

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Datele pentru indicatorul inhibiția denotă despre o poluare moderată a apelor nistrene (18%-47%), iar apele afluenților nu contribuie la creșterea concentrației de substanțe organice în apele fluviului (excepție 10.10.2024) (Tab. 6). În cazul afluenților Răut și Ichel apele sunt poluate moderat și poluate, valorile inhibiției fiind cel puțin duble față de apele Nistrului.

Tabelul 6. Valorile inhibiției (*I*, %) și gradul de poluare a apelor în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024		10.10.2024		11.04.2025		02.07.2025	
	I, %	Tipul apei	*I*, %	Tipul apei	*I*, %	Tipul apei	*I*, %	Tipul apei
1	24,7	poluate moderat	17,7	poluate moderat	23,2	poluate moderat	34,6	poluate moderat
2	53,4	poluate	43,4	poluate moderat	39,3	poluate moderat	57,6	poluate
3	26,9	poluate moderat	46,5	poluate moderat	23,0	poluate moderat	29,3	poluate moderat
4	62,3	poluate	54,1	poluate moderat	32,2	poluate moderat	49,4	poluate moderat
5	23,9	poluate moderat	37,3	poluate moderat	21,4	poluate moderat	27,2	poluate moderat

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Prin urmare, conținutul substanțelor organice indigene și exogene din apele afluenților sunt oxidate de particulele reactive formate în procesele de autopurificare chimică ale apelor fluviului. Datele obținute ale parametrilor integrativi ($\Sigma k_i[S_i]$, *I*) indică despre importanța lor în stabilirea reală a gradului de poluare a apelor, care arată o poluare mai accentuată decât indicatorii clasici (CBO_5, CCO_{Cr}) (Tab. 7).

Tabelul 7. Gradul de poluare a apelor stabilit după parametrii capacitatea de inhibiție ($\Sigma k_i[S_i]$, s^{-1}) și inhibiția (*I*, %) în prizele de captare

Nr. probei	19.06.2024		10.10.2024		11.04.2025		02.07.2025	
	$\Sigma k_i[S_i]$	*I*, %	$\Sigma k_i[S_i]$	*I*, %	$\Sigma k_i[S_i]$	*I*, %	$\Sigma k_i[S_i]$	*I*, %
1	poluare moderată	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat
2	poluat	poluate	poluare ușoară	poluate moderat	poluat	poluate moderat	poluat	poluate
3	poluat	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat
4	poluat	poluate	poluat	poluate moderat	poluat	poluate moderat	poluat	poluate moderat
5	poluare moderată	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat	poluare ușoară	poluate moderat

Nr. probei: 1 – Nistru, aval baraj Dubăsari; 2 – Nistru, gura de vărsare Răut; 3 – Nistru, amonte or. Criuleni; 4 –Nistru, gura de vărsare Ichel; 5 – Nistru, or. Vadul lui Vodă.

Așadar, parametrii utilizați în determinarea proceselor de poluare a apelor nistrene, capacitatea de inhibiție ($\Sigma k_i[S_i]$, s^{-1}) și inhibiția (*I*, %) oferă o imagine mult mai amplă privind cantitatea de substanțe organice cu caracter reducător, inclusiv cele bionedegradabile și cel mai important, comportamentul chimic al acestora în raport cu radicalii liberi responsabili de autopurificarea apei.

Concluzii

1. Fenomenele de poluare și autopurificare ale apelor nistrene monitorizate cu indicatorul CBO_5 relevă despre intensitatea satisfăctătoare a autopurificării biologice, astfel că apele nistrene corespund claselor I și III de calitate, iar afluenții Răut și Ichel nu au impact negativ asupra fluviului.

2. Dinamica conținutului sumar de substanțe organice determinate cu indicatorul CCO_{Cr} este una favorabilă proceselor de atenuare a poluării, apele fluviului atribuindu-se la clasele II și III de calitate. A fost înregistrată influență negativă doar urmare a deversării apelor râului Răut, situația care a fost atenuată pe cursul fluviului.

3. Parametrii integrativi de evaluare a poluării ($(\Sigma k_i[S_i]$, I) au demonstrat eficacitatea în aprecierea complexă a gradului de poluare a apelor fluviului, indicând un nivel moderat de poluare, dar mai accentuat decât indicatorii CBO_5 și CCO_{Cr}. Și acești parametri, similar celor clasici, confirmă despre micșorarea fenomenului de poluare pe cursul fluviului produs urmare a deversării afluenților Răut și Ichel.

Notă

Lucrarea a fost realizată în cadrul Subprogramului 010603 Identificarea Procedeelor Tehnologice de Tratare, Formare a Calității și Cantității Apelor și Cercetări Avansate în Chimia Computațională și Ecologică.

Referințe:

1. Anastas, P., Eghbali, N. Green Chemistry: Principles and Practice. Chem. Soc. Rev., 2009, 39, 301–312. DOI: 10.1039/B918763B.
2. Agenția Europeană pentru Produse Chimice (ECHA). Disponibil: https://echa.europa.eu/home [Accesat: 10.03.2026].
3. O'Flynn, D., Lawler, J., Yusuf, A., Parle-McDermott, A., Harold, D., Mc Cloughlin, T., Holland, L., Regan, F., White, B. A review of pharmaceutical occurrence and pathways in the aquatic environment in the context of a changing climate and the COVID-19 pandemic. *Anal. Methods*, 2021, 13, 575–594. DOI: 10.1039/d0ay02098b.
4. Muzammal, M. Emerging health risks of pharmaceutical pollutants in water sources: public health perspectives and policy recommendations. *AIDASCO Reviews*, 2025, 3(1), 36–43. DOI: 10.59783/aire.2025.73.
5. Lau, H. L., Sofian, R., Aedy Aewandy, S. N., Bazilah Awang Idris, N. D., Abdul Munir, N. A., Roslan, N. N., Abdul Majid, A. F., Usman, A., Nur, M. Pharmaceuticals as Emerging Contaminants in the Environment: Impacts and Remediation Processes. In: *Latest Research in Contaminants of Emerging Concern*. IntechOpen, 2025. DOI: 10.5772/intechopen.1013552.
6. Patel, M., Kumar, R., Kishor, K., Mlsna, T., Pittman, C. U., Mohan, D. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects and removal methods. *Chem. Rev.*, 2019, 119(6), 3510–3673. DOI: 10.1021/acs.chemrev.8b00299.
7. Szarka, A., Vnuková, L., Keršnáková, Z., Viktoryová, N., Hrouzková, S. Contamination with pharmaceuticals in aquatic environment: focus on analytical methodologies. *Appl. Sci.*, 2024, 14, 8645. DOI: 10.3390/app14198645.
8. Mariano, S. M. F., Angeles, L. F., Aga, D. S., Villanoy, C. L., Jaraula, C. B. Emerging pharmaceutical contaminants in key aquatic environments of the Philippines. *Front. Earth Sci.*, 2023, 11, 1124313. DOI: 10.3389/feart.2023.1124313.
9. Khan, A. H. A., Barros, R. Pharmaceuticals in water: risks to aquatic life and remediation strategies. *Hydrobiology*, 2023, 2, 395–409. DOI: 10.3390/hydrobiology2020026.
10. Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 890 din 12-11-2013 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la cerințele de calitate a mediului pentru apele de suprafață. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=143696&lang=ro [Accesat: 09.03.2026].
11. Zolkefli, N., Sharuddin, S. S., Yusoff, M. Z. M., Hassan, M. A., Maeda, T., Ramli, N. A review of current and emerging approaches for water pollution monitoring. *Water*, 2020, 12, 3417. DOI: 10.3390/w12123417.
12. European Parliament and Council. Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). *Official Journal of the European Union*, L396, 2006.

13. European Parliament and Council. Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (CLP). *Official Journal of the European Union*, L353, 2008.
14. SM SR EN 1899-1:2012. Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile (CBOn).
15. HACH Company. *Water Analysis Handbook*, 7th ed. Loveland, CO: HACH Company, 2012.
16. РД 52.18.24.83-89. Методические указания. Методика определения кинетических показателей качества поверхностных (пресных) вод. М.: Гидрометеоиздат, 1990.
17. ISO 5815:2019. Water quality – Determination of biochemical oxygen demand after n days (BODn). Part 1: Dilution and seeding method with allylthiourea addition.
18. ISO 6060:1989. Water quality – Determination of the chemical oxygen demand.
19. Bunduchi, E., Duca, G., Gladchi, V. New Kinetic Parameters for Natural Water Quality Assessment. In: *Handbook of Water Sciences and Society*. Ed.: Duca Gh., Vaseashta A., IGI Global, 2022, 257–270. DOI: 10.4018/978-1-7998-7356-3.ch011.
20. Blonschi, V., Gladchi, V., Bunduchi, E., Cisteacov, M., Lis, A., Duca, G. Procedeu de evaluare a gradului de poluare a apelor de suprafaţă. *Brevet de invenție MD 1905*. Nr. depozit s 2025 0047, publicat 30.11.2025. In: *BOPI*, 2025, 11, 40.

Date despre autori:



Vladislav BLONSCHI, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova
e-mail: vlad.blonschi@usm.md
ORCID: 0000-0001-8628-6756



Viorica GLADCHI, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova
e-mail: viorica.gladchi@usm.md
ORCID: 0000-0002-5847-4466



Elena BUNDUCHI, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova
e-mail: egbunduchi@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2275-9918



Angela LIS, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova
e-mail: angela.lis@usm.md
ORCID: 0000-0003-2275-9918