CZU 504.453.06:551.583(478:282) **DOI:https://doi.org/10.53937/sea2023.01**

IMPACTUL FACTORILOR CLIMATICI ȘI ANTROPICI ASUPRA STĂRII ECOLOGICE A RÂURILOR NISTRU ȘI PRUT DIN REPUBLICA MOLDOVA ÎN PERIOADA ACTUALĂ (2020-2023)

Olga JURMINSKAIA*, Nina BAGRIN, Elena ZUBCOV
*autor corespondent: ojur_aia@mail.ru
Universitatea de Stat din Moldova, Institutul de Zoologie, Centrul de Cercetare a Hidrobiocenozelor și Ecotoxicologiei, Laboratorul Hidrobiologie și Ecotoxicologie

Rezumat
Peste 300 de măsurători ale indicatorilor de calitate (temperatura apei, pH-ul și concentrația oxigenului dizolvat) au fost efectuate in situ în fluviul Nistru și aproape la fel de multe în râul Prut în perioada 2020-2023. Peste 400 sute de determinări ale oxigenului dizolvat și ale consumului biochimic de oxigen au fost realizate în condiții de laborator. La unele stații au fost înregistrate depășiri semnificative ale valorilor-limită nu numai pentru clasa de calitate I, ci și pentru clasele de calitate II și III. În cazul în care astfel de excese se echilibrează deja la următoarea stație de observare, se consideră că ecosistemul are un bun potențial de auto-restaurare.
Cuvinte-cheie: *fluviul Nistru, râul Prut, calitatea apei, intervalul modal al indicatorilor de calitate*

INTRODUCERE

Funcționarea ecosistemelor naturale are loc într-o interacțiune constantă cu mediul ambiant. Structura internă a unui ecosistem se poate modifica în timp și spațiu ca urmare a modificării factorilor de mediu atât naturali, cât și antropici (Alimov et al., 2013). În ecosistemele lotice, astfel de factori sunt regimul hidrologic, viteza curgerii, structura substratului și variațiile acestuia, regimul de temperatură și de oxigen, conținutul de elemente biogene, poluanți organici și substanțe toxice. Modificările pe termen lung ale oricărui factor conduc la succesiuni în comunitățile biotice și la formarea de noi biocenoze, adaptate condițiilor de habitat schimbate.

Schimbările climatice constituie una dintre cele mai grave probleme de mediu ale sec. XXI, deoarece ele provoacă schimbări în funcționarea ecosistemelor și pierderea biodiversității (Ozbayram et al., 2022). Multe râuri mici din Republica Moldova (RM) seacă parțial sau complet în timpul verii, iar nivelul principalelor artere de apă – râurile Nistru și Prut – scade uneori până la nivelul de la care se pompează apa pentru alimentarea centralizată cu apă potabilă. Trebuie precizat că secetele hidrologice au devenit un fenomen obișnuit în țară nu doar vara și toamna, ci și iarna și chiar primăvara (Jurminskaia et al., 2020).

O problemă la fel de semnificativă pentru ecosistemele fluviale sunt și construcțiile hidro-energetice, care presupun blocarea cursului de apă, construirea barajelor și lacurilor de tampon sau a lacurilor de acumulare prin pompare, cu fluctuații zilnice ale nivelului apei. Un exemplu elocvent este impactul Complexului Hidroenergetic Nistrean (CHEN, amplasat în zona de frontieră dintre Ucraina și Moldova) asupra tronsonului moldovenesc al fluviului Nistru. Rezultatele studiilor pe termen lung ale stării ecologice a fl. Nistru, efectuate de Laboratorul Hidrobiologie și Ecoto-xicologie al Institutului de Zoologie, demonstrează că perturbarea dinamicii sezoniere naturale a regimului de temperatură afectează, de asemenea, regimul gazos al fluviului și ciclurile sezoniere de dezvoltare a hidrobionților, inclusiv a peștilor, ceea ce duce, în cele din urmă, la o scădere a potențialului producțional al Nistrului (Zubcov et al., 2020).

Funcționarea ecosistemului unui curs de apă transfrontalier este determinată nu numai de condițiile climatice ale ecoregiunii, dar și de tipul de servicii ecosistemice prevăzute de Planul de Gestionare al Bazinului Hidrografic. Râurile Nistru și Prut sunt cursuri de apă transfrontaliere pentru Republica Moldova, România și Ucraina. Astfel, starea lor pe teritoriul RM depinde în mare măsură de serviciile ecosistemice oferite de aceste râuri și utilizate de către România și Ucraina.

Scopul acestei lucrări este de a evalua schimbările în componența chimică și calitatea apei fluviului Nistru și râului Prut prin analiza dinamicii sezoniere și spațiale a unor parametri fizico-chimici precum temperatura și reacția activă a apei, conținutul de oxigen dizolvat și materia organică biodegradabilă. Analiza variabilității sezoniere pe termen lung a acestor parametri permite evaluarea rezistenței ecosistemului fluvial la presiunea antropică și schimbările climatice.

MATERIALE ȘI METODE

În cadrul a 16 expediții complexe în bazinul fl. Nistru și 14 – în bazinul r. Prut (în limitele teritoriale ale Republicii Moldova), au fost colectate probe de apă pentru a fi prelucrate în condiții de laborator, iar unii parametri hidrochimici au fost măsurați *in situ,* utilizând echipamentul portabil.

În bazinul Nistrului, probele au fost prelevate la următoarele stații: Naslavcea, Vălcineț, Soroca, Camenca (sectorul mijlociu), Hârjău, Goian, Cocieri (lacul de acumulare Dubăsari), Vadul lui Vodă, Varnița, Palanca (sectorul inferior). Stația Naslavcea este situată la granița dintre Ucraina și Republica Moldova, pe malul drept al Nistrului, în aval de CHE-2, care face parte din CHEN. Specificitatea acestei secțiuni de râu constă în faptul că apa ajunge aici din orizonturile inferioare ale lacului de acumulare Dnestrovsc, de la o adâncime de cca 27 m, după ce a trecut printr-un ciclu complet de producere a energiei electrice (CHE-1, rezervorul de tampon, Centrala Hidroelectrică de Acumulare prin Pompare cu rezervorul superior etc.), cu toate consecințele menționate mai sus (Zubcov et al., 2021). Localitățile Soroca, Camenca, Hârjău, Goian, Cocieri, Varnița, Palanca deversează apele uzate în fl. Nistru fără nici o tratare. Stații de epurare funcționează doar în Râbnița (deversează apele epurate în lacul de acumulare Dubăsari), Vadul lui Vodă, Chișinău și Tiraspol (apele epurate sunt deversate în sectorul inferior al Nistrului).

În bazinul Prutului, probele au fost prelevate la stațiile Costești, Branițte, Sculeni, Leușeni, Cahul, Câșlița-Prut și Giurgiulești. Tronsonul transfrontalier moldo-român al râului Prut include diferite zone ecologice, cum ar fi lacul de acumulare Costești-Stânca, gura de vărsare a râului Jijia, lunca inundabilă a Prutului cu lacul relict Beleu, unde se efectuează extracția de petrol în pofida faptului că este o zonă protejată a rezervației științifice "Prutul de Jos", precum și gura de vărsare a Prutului, cu Portul Internațional Liber Giurgiulești.

Temperatura apei a fost măsurată la o adâncime de 80-100 cm a stratului de apă, folosind termometrul hidrologic cu gradarea de 0,1ºC. În paralel, temperatura apei a fost controlată cu echipamentele portabile CONSORT C5030 și MS 08.

Rezultatul măsurării pH-ului prin metoda electrometrică nu este afectat de culoare, turbiditate, clor liber, prezența de substanțe reducătoare sau oxidante în probă, dar depinde de temperatura apei. Prin urmare, măsurarea pH-ului în programele de monitorizare a ecosistemelor acvatice se realizează *in situ.* A fost utilizat echipamentul portabil CONSORT C5030.

Concentrația oxigenului dizolvat a fost determinată în conformitate cu standardul național (SM SR EN 25813, 2012) prin metoda Winkler în condiții de laborator, dar etapa de sedimentare a fost efectuată la locul de prelevare. În paralel, concentrația oxigenului în apă a fost măsurată *in situ,* folosind dispozitivul de măsurare Multi-Sensor MS 08.

Conținutul de materie organică biodegradabilă din probele de apă poate fi apreciat prin determinarea consumului biochimic de oxigen (CBOn) după *n* zile de incubare a probelor în condiții standardizate: flacoane închise ermetic, la întuneric, la temperatura 20°C (SM SR EN 1899-2, 2007). Determinarea CBO_5 se realizează, în majoritatea cazurilor, în probe naturale prin sifonarea apei printr-o plasă cu dimensiunea ochiului de 0,45 mm pentru a reține zooplanctonul. Influența interferenței activității fotosintetice a fitoplanctonului asupra rezultatului consumului de oxigen este eliminată prin incubarea probelor în întuneric. S-a folosit incubatorul refrigerat FOC 120E.

Dinamica sezonieră și spațială a parametrilor luați în considerare a fost analizată statistic și grafic folosind softul MS Excel.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Perioada 2020-2023 a fost marcată de 3 tipuri de provocări: secete hidrologice, pandemia COVID 19 și războiul în Ucraina. Introducerea stării de urgență în primăvara 2020 din cauza pandemiei COVID-19 a perturbat graficul expedițiilor de primăvară pe râurile Nistru și Prut. Acestea au fost realizate doar în a doua jumătate a lunii mai. În bazinul Nistrului, probele au fost prelevate de pe malul drept, fără a traversa punctele de frontieră transnistrene, din cauza situației de carantină. Și totuși, au fost efectuate șase expediții, ceea ce a făcut posibilă evaluarea stării fluviului pe întreg sezonul hidrologic (iarnă, primăvară, vară și toamnă).

Pe parcursul anului 2021 au fost realizate 4 expediții complexe în iarnă, primăvară, vară și toamnă pe fl. Nistru, inclusiv lacul de acumulare Dubăsari, și 3 expediții pe r. Prut, inclusiv lacul de acumulare Costești-Stânca. În 2022 au fost planificate 6 expediții (primăvară, vară și toamnă) pentru colectarea probelor în bazinele Nistrului și Prutului. Declanșarea ostilităților în februarie 2022 pe teritoriul Ucrainei a împiedicat desfășurarea expediției de primăvară pe fl. Nistru, care servește drept graniță între Republica Moldova și Ucraina. Expediția a fost realizată la începutul lunii iunie. În 2023, programul de cercetare a acoperit toate anotimpurile hidrologice: 4 expediții au fost efectuate pe Nistru, Prut și lacurile de acumulare menționate mai sus.

Condițiile climatice și regimul hidrologic determină în mod natural dinamica sezonieră a funcționării ecosistemelor acvatice. Conform sistemului A (*ecoregiuni pentru râuri și lacuri*) din Anexa XI a Directivei 2000/60/CE, Republica Moldova este situată în două regiuni: 16 – Câmpiile estice și 12 – Regiunea pontică. Granița dintre ele se întinde între E28° și E29° (Fig. 1). Aceste ecoregiuni pe teritoriul Moldovei sunt caracterizate de 4 anotimpuri hidrologice: iarnă (cu scăderea temperaturii apei sub 0ºC), primăvară (cu fenomenul apelor mari de primăvară), vară (cu precipitații abundente la începutul sezonului și secetă hidrologică la sfârșitul acestuia) și toamnă (cu scăderea treptată a temperaturii apei până la 10-8ºC).

În perioada luată în considerare (2020-2023), caracteristicile naturale ale anotimpurilor hidrologice au fost perturbate: fl. Nistru și r. Prut nu îngheață iarna; din cauza precipitațiilor reduse de primăvară în Carpați, fenomenul apelor mari de primăvară este slab exprimat; seceta hidrologică începe deja primăvara și continuă pe tot parcursul anului.

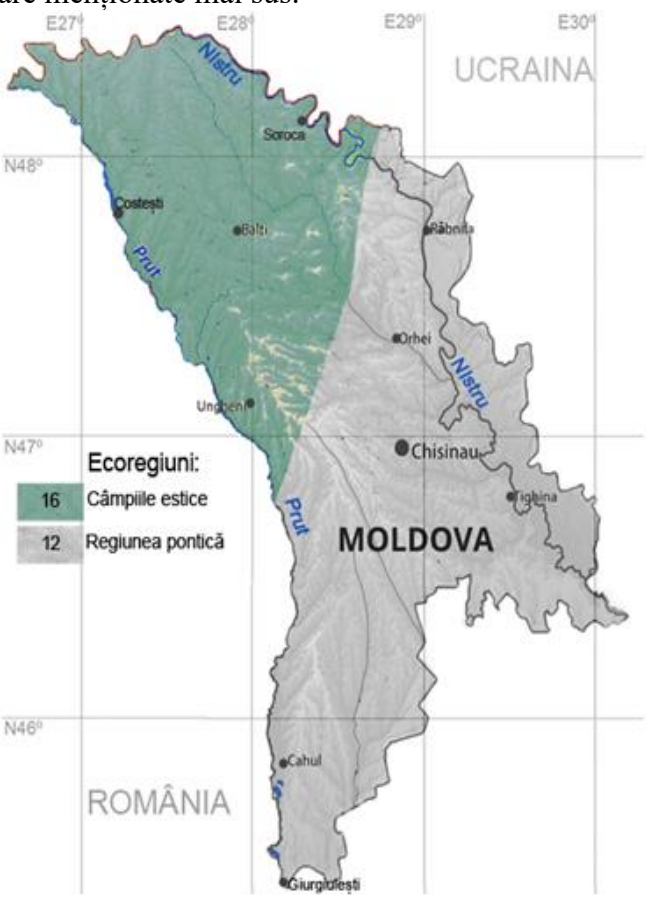


Fig. 1. Ecoregiuni ale Directivei-cadru a apei (DCA) pe teritoriul Republicii Moldova

Temperatura apei este unul dintre principalii factori limitativi ai habitatului, adaptarea la care determină supraviețuirea comunităților biotice prin reglarea ciclurilor de dezvoltare a hidrobionților poichilotermi. Regimul de temperatură determină condițiile metabolismului acestora în habitatul acvatic și, prin urmare, joacă un rol important în funcționarea hidrobiocenozelor.

Râurile Nistru și Prut au caracteristici geografice destul de asemănătoare: izvoarele sunt situate în Munții Carpați, cursurile lor mijlocii sunt amplasate în aceleași ecoregiuni (Figura 1) și gurile ambelor râuri aparțin regiunii de nord a Mării Negre. Astfel, condițiile climatice ale acestor ecosisteme acvatice sunt, de asemenea, foarte similare.

Analiza statistică a dinamicii sezoniere a temperaturii apei **fluviului Nistru** în tronsonul Naslavcea – Palanca a fost efectuată pe baza a 3 sezoane de vegetație (primăvară, vară și toamnă). Setul de date procesate a constat din 120 de rezultate ale măsurării temperaturii apei la locurile de prelevare.

Pentru fiecare stație de observare, au fost luate în considerare următoarele caracteristici statistice: valoarea minimă (*min*), valoarea maximă (*max*), valoarea medie, abaterea standard (*SD*) și coeficientul de variație (*CV, %*). Valoarea medie cu eroarea standard a mediei (*SEM*) a fost calculată pentru întregul tronson (Tabelul 1).

Tab. 1. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității temperaturii apei fl. Nistru, detaliate pe sezoanele hidrologice 2020-2023

CS, °C	Ns	Vc	Sr	Cm	Hr	Gn	Cr	VlV	Vn	Pl	Per tronson
primăvara											
min	3,2	4,4	4,4	5,2	5,4	6,6	7,8	8,2	7,6	8,4	
max	10,8	13,0	16,0	18,6	16,8	15,6	15,0	15,8	17,4	17,6	
medie	6,6	8,3	10,4	10,9	10,1	10,4	10,6	10,8	11,2	11,7	10,09±0,48*****
SD	3,9	4,4	5,8	6,9	6,0	4,7	3,9	4,3	5,4	5,1	n = 30**
CV (%)	59	53	56	64	59	45	36	40	48	44	
vara											
min	11,9	14,5	21,2	19,8	20,5	22,0	24,2	22,4	23,0	24,8	
max	19,4	20,0	22,9	24,0	23,9	25,6	26,5	25,6	25,6	27,0	
medie	15,0	16,6	22,4	22,3	22,5	23,9	25,1	24,3	24,6	26,0	22,27±1,15
SD	3,1	2,4	0,8	1,9	1,5	1,5	1,1	1,4	1,1	1,1	n = 50
CV (%)	21	14	4	8	7	6	4	6	5	4	
toamna											
min	13,2	13,5	13,9	13,0	11,2	13,0	14,6	14,2	12,8	12,6	
max	17,3	16,6	15,0	13,8	14,8	15,6	16,4	15,2	14,8	16,8	
medie	15,8	15,4	14,6	13,4	13,4	14,5	15,6	14,6	13,9	15,3	14,63±0,28
SD	1,8	1,4	0,5	0,4	1,5	1,3	0,8	0,4	1,1	1,9	n = 40
CV (%)	11	9	3	3	12	9	5	3	8	13	

*Valoare medie (pentru sectorul Naslavcea – Palanca) ± *SEM* (Standard Error of the Mean)
**Numărul probelor prelucrate
Ns – Naslavcea, Vc – Vălcineț, Sr – Soroca, Cm – Camenca, Hr – Hârjău, Gn – Goian, Cr – Cocieri, VlV – Vadul lui Vodă, Vn – Varnița, Pl – Palanca

Conform datelor prezentate, variabilitatea temperaturii apei pe toată lungimea Nistrului în Republica Moldova, considerată în ansamblu, are o dinamică sezonieră clară: 10,1±0,5ºC primăvara, 22,3±1,2ºC vara și 14,6±0,3ºC toamna. Cu toate acestea, în tronsonul Naslavcea – Vălcineț, temperaturile apei sunt cu 3-5ºC mai înalte în primele luni de primăvară și toamna, însă cu 7-10 (ºC) mai scăzute vara decât pe fluviu în aval.

Valoarea medie este o caracteristică a poziției. Coeficientul de variație caracterizează dispersia rezultatelor în raport cu valoarea medie și permite compararea parametrilor exprimați în unități de măsură diferite. Dinamica spațială a ambelor caracteristici pentru fl. Nistru este prezentată în Figura 2.

Diferiți parametri sunt caracterizați de coeficienți de variație diferiți. Dar pentru același parametru, valoarea coeficientului de variație rămâne destul de stabilă și de obicei (cu o distribuție normală) nu depășește 50 % (Lakin, 1980). Analiza statistică a diferitor parametri biologici și a factorilor abiotici are o interpretare similară: cu cât este mai mare gradul de variație al unui factor limitativ, cu atât este mai mare presiunea asupra potențialului de adaptare a comunităților biotice.

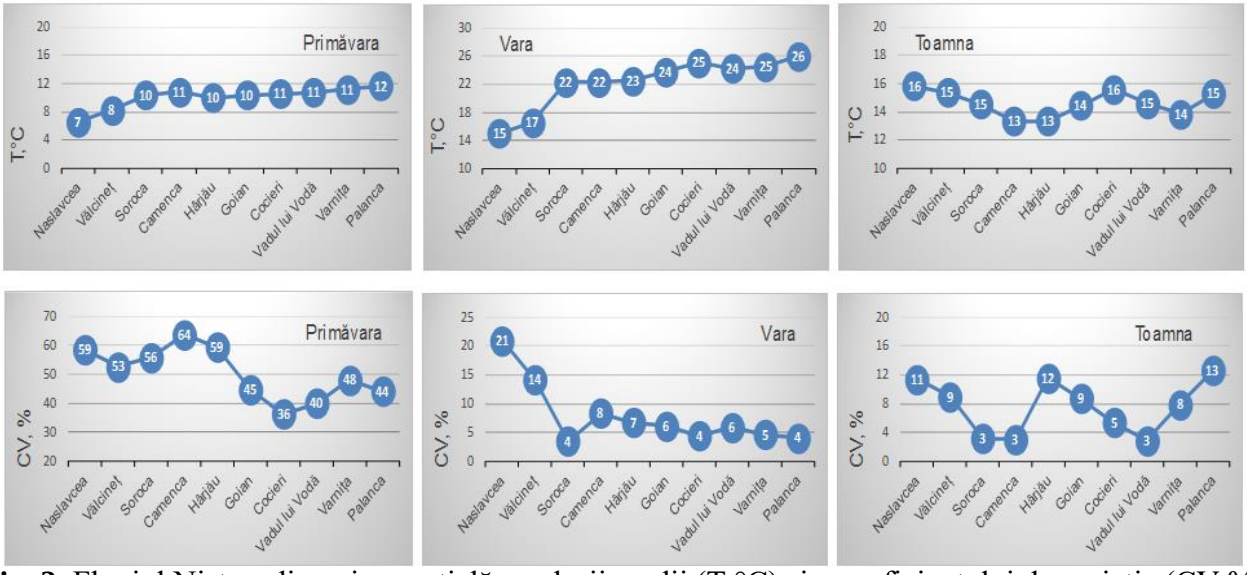


Fig. 2. Fluviul Nistru: dinamica spațială a valorii medii (T,°C) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Temperatura apei", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

Astfel, pe parcursul perioadei de vegetație (primăvară – toamnă), temperatura apei în tronsonul Naslavcea – Vălcineț nu este una caracteristică pentru această regiune. Variabilitatea maximă a parametrului se înregistrează primăvara (*CV* = 40-60 %), care este asociată cu apele mari de primăvara. Variabilitatea de vară este scăzută (*CV* = 4-8 %), cu excepția tronsonului Naslavcea – Vălcineț (*CV* = 14-20 %). De-a lungul profilului longitudinal al fluviului, cele mai mari fluctuații ale temperaturii apei într-un sezon se înregistrează la stațiile Naslavcea, Vălcineț (vara, toamna), Camenca (primăvara), Hârjău și Palanca (toamna).

Analiza dinamicii sezoniere a temperaturii apei **râului Prut** a fost efectuată pe baza a 84 de rezultate obținute în perioada de vegetație a anilor 2020-2023. Pentru fiecare stație de observare au fost calculate caracteristicile statistice *min*, *max*, *medie*, *abatere standard* și *coeficientul de variație* (Tabelul 2).

Tab. 2. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității temperaturii apei râului Prut, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, °C	Cs	Br	Sc	Lș	Ch	C-P	Gg	Per tronson
primăvara								
min	7,4	4,6	6,6	6,5	6,0	5,9	6,3	12,48±0,62 n = 28
max	15,8	14,8	16,0	17,8	18,0	18,6	20,8	
medie	11,4	9,9	11,4	13,1	13,4	13,7	14,5	
SD	4,55	4,86	4,35	5,64	5,59	5,75	6,67	
CV (%)	40	49	38	43	42	42	46	
vara								
min	22,4	20,3	20,8	21,2	23,5	24,2	22,8	23,62±0,45 n = 28
max	26,3	23,4	23,8	25,2	26,2	25,2	25,6	
medie	23,7	21,7	22,4	23,8	24,8	24,7	24,4	
SD	1,78	1,28	1,32	1,80	1,21	0,41	1,16	
CV (%)	8	6	6	8	5	2	5	
toamna								
min	13,0	13,6	12,2	11,2	11,4	11,8	12,4	16,53±0,27 n = 28
max	22,2	22,1	23,1	20,0	20,0	21,3	22,0	
medie	17,1	17,1	16,7	15,5	15,7	16,5	17,3	
SD	4,40	4,21	5,23	4,59	4,63	4,82	4,64	
CV (%)	26	25	31	30	30	29	27	

Cs – Costești, Br – Branište, Sc – Sculeni, Lș – Leușeni, Ch – Cahul, C-P – Câșlița-Prut, Gg - Giurgiulești

Temperatura apei în tronsonul Costești – Giurgiulești, considerat în ansamblu, are o dinamică sezonieră clară: 12,5±0,6ºC primăvara, 23,6±0,5ºC vara și 16,5±0,3ºC toamna. Diferența de temperatură între stațiile Costești și Giurgiulești este minimă în toate anotimpurile: 11,4-14,5ºC primăvara, 23,7-24,4ºC vara și 17,1-17,3ºC toamna. Ca și în cazul fl. Nistru, variabilitatea parametrului este cea mai înaltă primăvara (CV = 39-49 %) și cea mai scăzută vara (CV = 2-8 %). Dinamica spațială a valorii medii și a coeficienților de variație a temperaturii apei râului Prut pentru perioada analizată este prezentată în Figura 3.

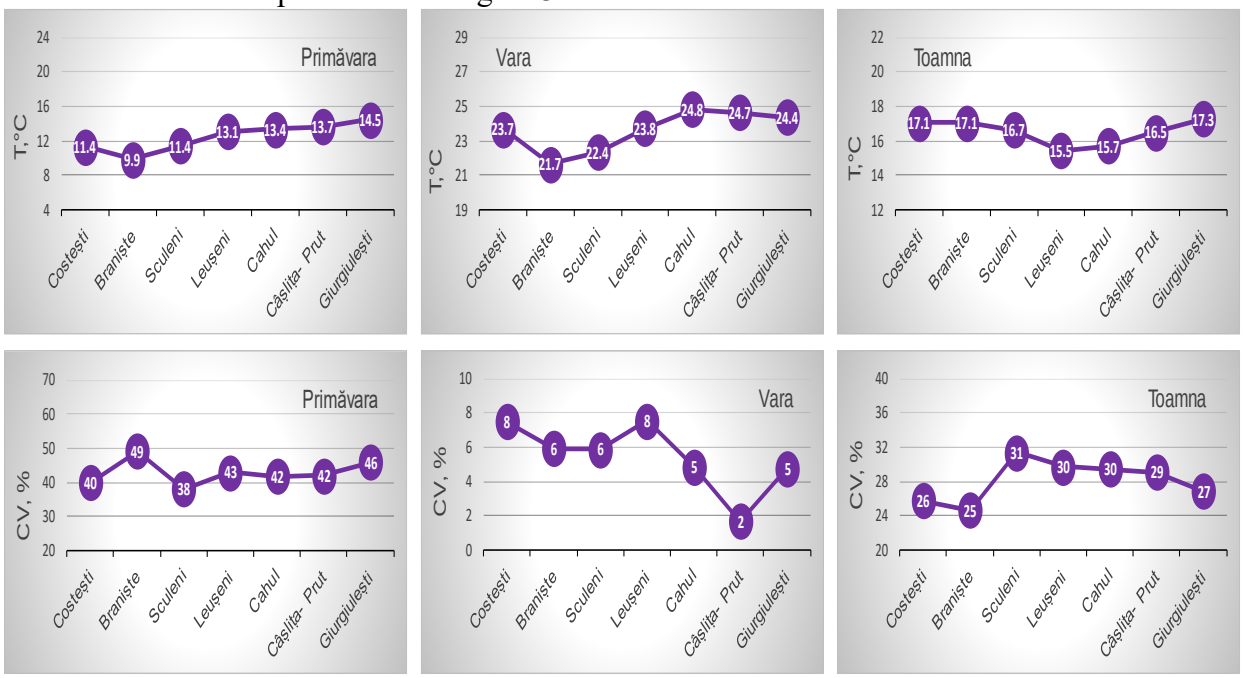


Fig. 3. Râul Prut: dinamica spațială a valorii medii (T,°C) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Temperatura apei", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

Prin urmare, în perioada analizată, temperatura apei din tronsonul Costești – Giurgiulești a variat în mod normal, în conformitate cu sezonul hidrologic. Variabilitatea mai înaltă este asociată cu apele mari de primăvara, iar mai scăzută – cu seceta hidrologică a sezonului estival. Dinamica spațială a parametrului (în funcție de valoarea medie) variază nesemnificativ în cadrul unui sezon, dar există câteva "puncte de inflexiune" în care linia de tendință schimbă direcția: acestea sunt stațiile Braniște (primăvara, vara) și Leușeni (toamna). Variațiile locale ale temperaturii apei nu au un caracter sezonier, ci sunt aparent cauzate de o combinație de factori hidrologici și antropici la fiecare stație de observare. Primăvara cele mai mari variații de temperatura se înregistrează la stația Braniște, vara se stabilizează la stația Câșlița-Prut, iar toamna temperatura apei în tronsonul Costești – Braniște are o dinamica proprie, diferita de tronsonul râului în aval.

Reacția activă a apei. În perioada 2020-2023, în tronsonul Naslavcea – Palanca au fost efectuate *in situ* 143 de măsurări ale pH-ului apei **fluviului Nistru** în diferite sezoane hidrologice, inclusiv iarna. Intervalul de variație al parametrului a fost 7,09-9,21 (unități pH). Cerințele de calitate a mediului pentru apele de suprafață ale Republicii Moldova (Regulamentul, 2013) reglementează valorile-limită ale reacției active a apei pentru 5 clase de calitate:

Clasa de	I	II	III	IV	V
Unități pH-ului:	6,5 - 8,5	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0	< 6,5 / > 9,0

În funcție de această clasificare, valoarea minimă 7,09 (un. pH) corespunde clasei de calitate I, iar valoarea maximă 9,21 (un. pH) poate fi plasată în oricare dintre următoarele clase. Valorile pH-ului > 9,0 au fost înregistrate în lacul de acumulare Dubăsari într-un loc cu curent lent, fitoplancton și macrofite submerse abundente (malul drept, st. Goian, primăvara 2022). Procesele de fotosinteză se activează în zona fotică a corpului de apă pe vreme însorită, rezultând o scădere a concentrației CO_2, suprasaturarea apei cu oxigen și alcalinizarea habitatului. În cazul în care acest fenomen are o

dinamică naturală diurnă, ecosistemul restabilește echilibrul de oxigen în funcție de temperatura apei. Cu toate acestea, din cauza schimbărilor climatice și a reglementării debitului fluviului de către Ucraina, nivelul apei Nistrului în Republica Moldova scade, viteza de curgere încetinește, iar transparența apei este în creștere. Prin urmare, nu numai la nivel local, ci și la scară largă, albia râului este acoperită cu macrofite (Zubcov et al., 2021), iar compoziția fitoplanctonului se modifică: diatomeele sunt înlocuite de algele albastre-verzi (Zvezdina et al., 2019). În astfel de condiții, autoregenerarea ecosistemului poate depăși limitele rezistenței sale, se va produce o alcalinizare constantă a habitatului, ceea ce va duce la moartea în masă a hidrobionților și la poluarea secundară a râului.

În afară de factorii biotici, există și factori antropici care provoacă alcalinizarea apei în râurile-receptoare de ape utilizate. Stațiile municipale de epurare biologică din Moldova se confruntă cu această problemă în sezonul prelucrării în masă a produselor agricole. Apele uzate de la întreprinderile din industria alimentară (fabrici de conserve, fabrici de bere etc.) inhibă microflora bioreactoarelor, ceea ce duce la destabilizarea procesului de epurare biologică. Instalațiile locale de epurare ale acestor întreprinderi, puse în funcțiune în anii’ 90 ai secolului trecut, nu funcționează în majoritatea cazurilor. Biodegradarea și recuperarea acestor ape uzate este realizată în prezent de ecosistemul fl. Nistru.

Pentru analiza statistică a dinamicii sezoniere a pH-ului apei fl. Nistru în tronsonul Naslavcea – Palanca, au fost procesate 120 de rezultate de măsurare, obținute în perioada de vegetație a anilor 2020-2023 (Tabelul 3).

Tab. 3. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității parametrului pH în apa fl. Nistru, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, un. pH	Ns	Vc	Sr	Cm	Hr	Gn	Cr	VlV	Vn	Pl	Per tronson
primăvara											
min	8,16	8,37	8,19	8,26	8,20	8,18	8,14	7,98	7,97	7,88	
max	8,36	8,45	8,49	8,49	8,49	8,40	8,70	8,65	8,56	8,65	
medie	8,28	8,41	8,38	8,41	8,34	8,27	8,42	8,33	8,26	8,17	8,33±0,03
SD	0,11	0,04	0,16	0,13	0,15	0,12	0,40	0,34	0,29	0,42	n = 30
CV (%)	1,3	0,5	1,9	1,5	1,7	1,4	4,7	4,0	3,6	5,2	
vara											
min	7,71	7,82	8,24	8,04	8,19	8,25	8,22	7,09	7,94	7,52	
max	8,11	8,20	8,99	8,96	8,62	8,91	8,57	8,85	8,36	8,07	
medie	7,96	8,05	8,51	8,45	8,42	8,47	8,39	8,08	8,10	7,82	8,22±0,08
SD	0,18	0,16	0,34	0,39	0,22	0,30	0,16	0,75	0,20	0,24	n = 50
CV (%)	2,2	2,0	4,0	4,6	2,6	3,5	1,9	9,3	2,5	3,1	
toamna											
min	7,67	7,83	7,74	8,28	8,14	8,23	8,05	7,37	8,10	7,92	
max	8,01	8,23	8,19	9,15	8,88	8,74	8,82	8,69	8,48	8,27	
medie	7,83	7,99	7,98	8,65	8,59	8,46	8,48	8,16	8,26	8,07	8,25±0,09
SD	0,14	0,17	0,24	0,39	0,32	0,22	0,32	0,57	0,16	0,16	n = 40
CV (%)	1,8	2,1	3,1	4,5	3,7	2,6	3,8	6,9	1,9	2,0	

Ns – Naslavcea, Vc – Vălcineț, Sr – Soroca, Cm – Camenca, Hr – Hârjău, Gn – Goian, Cr – Cocieri, VlV – Vadul lui Vodă, Vn – Varnița, Pl – Palanca

Nu a fost evidențiată careva dinamică sezonieră a pH-ului apei din fl. Nistru pe tronsonul Naslavcea – Palanca, considerat în ansamblu: 8,33±0,03 primăvara, 8,22±0,08 vara și 8,25±0,09 toamna. Valorile medii ale pH-ului pentru fiecare sezon se încadrează în clasa de calitate I. Astfel, se poate constata că la scara sectorului considerat, limita de sustenabilitate a ecosistemului Nistrului din punct de vedere al indicatorului de acidificare nu a fost încă depășită. Dinamica spațială a valorii medii și a coeficienților de variație a acestui parametru este prezentată în Figura 4.

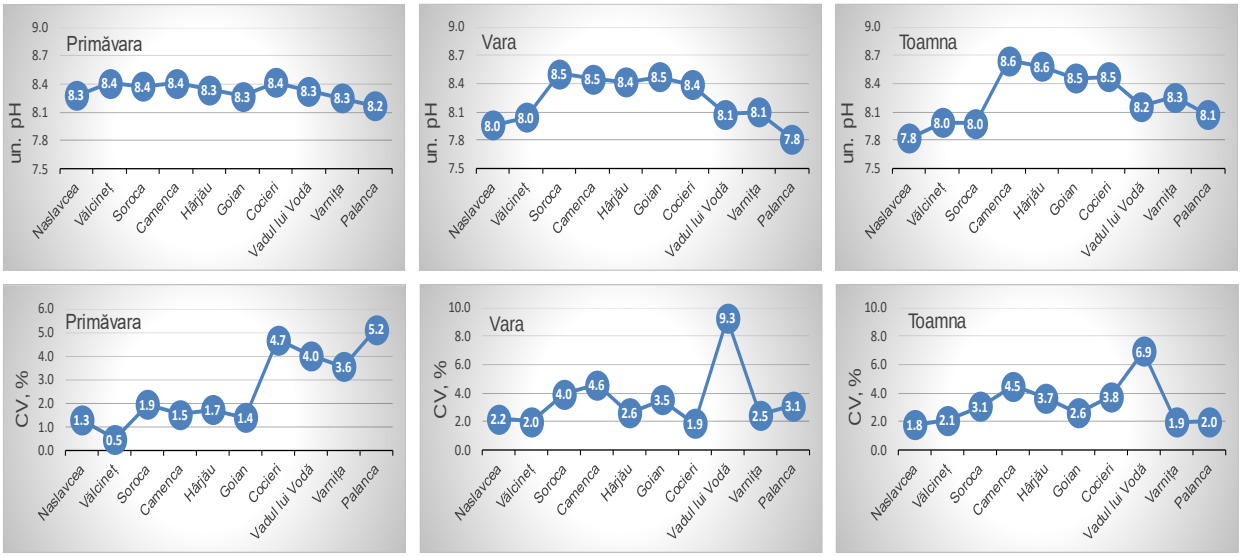


Fig. 4. Fluviul Nistru: dinamica spațială a valorii medii (un. pH) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Acidificare", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

În funcție de valorile medii, reacția activă a apei variază cel mai puțin primăvara (8,17-8,41). În timpul verii, combinația de factori biotici și abiotici provoacă o variabilitate semnificativă a pH-ului apei. Se diferențiază clar 3 sectoare cu dinamici diferite ale pH-ului: Naslavcea – Vălcineț (7,96-8,05), Soroca – Cocieri (8,51-8,39) și Vadul lui Vodă – Palanca (8,08-7,82). Toamna, ecosistemul Nistrului restabilește pH-ul după Complexul Hidroenergetic Nistrean de la 7,83 (st. Naslavcea) la 8,65 (st. Camenca). Această valoare rămâne stabilă pe tot parcursul lacului de acumulare Dubăsari (8,59-8,48). Cele mai semnificative fluctuații ale parametrului au fost înregistrate la stația Vadul lui Vodă. Cauza acestor fluctuații poate fi o combinație a doi factori: evacuarea apei de la stația de epurare din Vadul lui Vodă și captarea apei (6500-8500 m^3/oră) de către stația de captare pentru sistemul de alimentare cu apă Chișinău (https://www.acc.md/news/2433). În general, calitatea apei fluviului Nistru în ceea ce privește parametrul "Acidificare" corespunde clasei I, cu excepția cazurilor de alcalinizare locală a apei în perioadele de secetă hidrologică până la clasa II, provocată atât de factori biotici, cât și antropici.

În ceea ce privește tronsonul Costești – Giurgiulești al **râului Prut**, au fost efectuate *in situ* 94 de măsurători ale pH-ului apei în diferite sezoane hidrologice din perioada 2020-2023, inclusiv iarna. Intervalul de variație a parametrului a constituit între 7,40 și 8,95 (un. pH), ceea ce este practic în limitele clasei de calitate I pentru corpurile de apă de suprafață. Valoarea maximă a fost înregistrată la stația Leușeni (februarie 2020), valoarea minimă – în tronsonul Câșlița-Prut – Giurgiulești (iulie 2020) (Tabelul 4).

Tab. 4. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității reacției active a apei râului Prut, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, un. pH	Cs	Br	Sc	Lș	Ch	C-P	Gg	Per tronson
primăvara								
min	8,45	8,39	8,26	8,20	8,22	8,09	8,09	8,39±0,04 n = 28
max	8,55	8,60	8,65	8,51	8,46	8,54	8,46	
medie	8,50	8,50	8,45	8,37	8,35	8,29	8,28	
SD	0,05	0,10	0,18	0,16	0,12	0,21	0,16	
CV (%)	0,6	1,2	2,1	2,0	1,4	2,5	1,9	

vara								
min	8,30	7,98	8,05	7,84	7,95	7,40	7,41	
max	8,85	8,35	8,40	8,30	8,80	8,18	8,17	
medie	8,57	8,14	8,23	8,13	8,36	7,85	7,84	8,16±0,10
SD	0,23	0,16	0,14	0,20	0,35	0,33	0,32	n = 28
CV (%)	2,6	2,0	1,7	2,5	4,2	4,2	4,1	
toamna								
min	8,22	8,06	8,15	8,10	8,04	8,03	8,00	
max	8,41	8,36	8,52	8,45	8,50	8,32	8,32	
medie	8,35	8,23	8,38	8,32	8,33	8,23	8,21	8,29±0,03
SD	0,09	0,13	0,16	0,16	0,20	0,13	0,15	n = 28
CV (%)	1,1	1,6	1,9	1,9	2,4	1,6	1,8	

Cs – Costești, Br – Branițe, Sc – Sculeni, Lș – Leușeni, Ch – Cahul, C-P – Câșlița-Prut, Gg - Giurgiulești

În tronsonul Costești – Giurgiulești, per ansamblu, nu se manifestă o dinamică sezonieră clară a pH-ului apei, valorile medii fiind următoarele: 8,39±0,04 primăvara, 8,16±0,10 vara și 8,29±0,03 toamna. Variabilitatea locală a parametrului, de asemenea, nu demonstrează o dependență sezonieră, dar, cel mai probabil, se datorează combinației mai multor factori (Fig. 5).

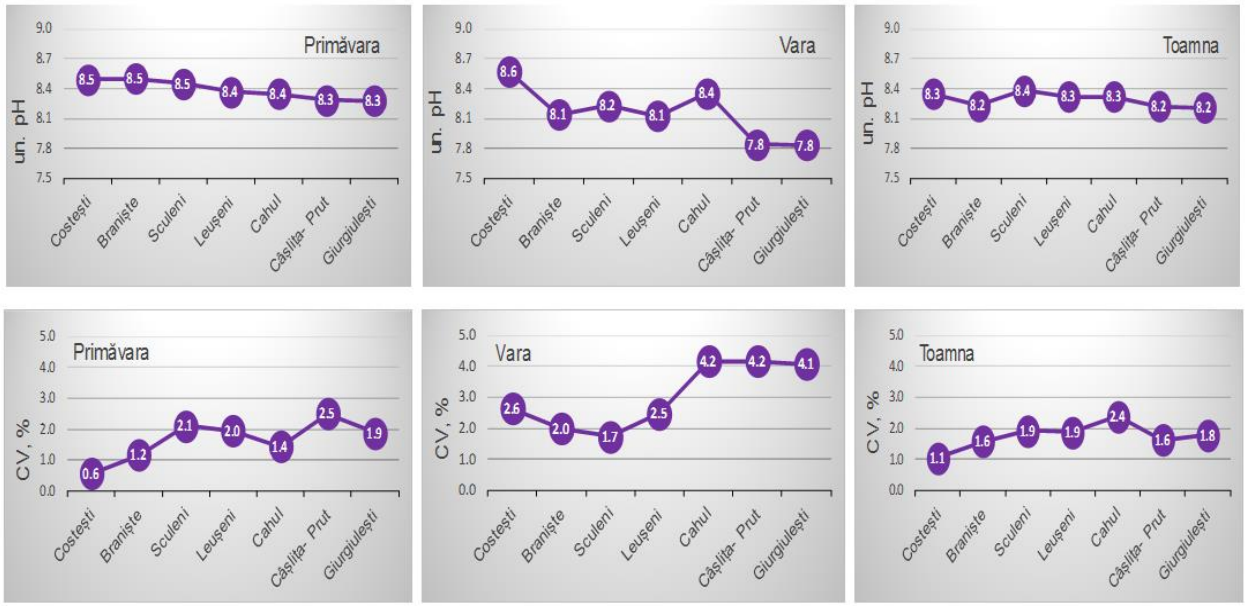


Fig. 5. Râul Prut: dinamica spațială a valorii medii (un. pH) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Acidificare", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

Astfel cum rezultă din datele prezentate, și în cazul r. Prut, perioada cea mai stabilă din punct de vedere al reacției active a apei este primăvara (8,28-8,50) și toamna (8,21-8,38). Vara este, ca întotdeauna, o perioadă de instabilitate: zona barajului lacului de acumulare Costești-Stânca are condiții favorabile pentru dezvoltarea fitoplanctonului (8,6 un. pH), iar în tronsonul Câșlița-Prut – Giurgiulești se înregistrează refluxul de apă din Dunărea (7,8 un. pH). Cea mai mare variabilitate a parametrului de-a lungul profilului longitudinal al Prutului are loc în sectorul Cahul – Giurgiulești vara. Sectorul este navigabil, iar vara, când nivelul apei este scăzut, chiar și o poluare minoră poate perturba echilibrul reacției active a habitatului acvatic. În perioada analizată, calitatea apei râului Prut, în funcție de starea de acidificare, corespunde clasei I, uneori clasei II.

Oxigen dizolvat. În cursurile și corpurile de apă de suprafață, concentrația oxigenului dizolvat corelează invers cu temperatura apei, în timp ce temperatura nu depinde de concentrația oxigenului, iar solubilitatea oxigenului în apă depinde de temperatură acesteia. Prin urmare, dinamica sezonieră a oxigenului dizolvat în apă este bine exprimată, dar există factori (biotici și antropici) care

influențează această dinamică. Regulamentul (2013) a stabilit următoarele valori-limită ale claselor de calitate pentru parametrul "Oxigen dizolvat":

Clasa de calitate:	I	II	III	IV	V
Oxigen dizolvat, mg/L:	> 8	> 7	> 5,5	> 4	< 4
Saturația oxigenului, %:	> 90	≥ 80	≥ 60	≥ 40	< 40

Conținutul oxigenului în apa **fluviului Nistru** în diferite anotimpuri ale perioadei analizate a variat de la 4,18 la 12,20 (mg/L), ceea ce, în funcție de temperatura apei și presiunea atmosferică la momentul prelevării, a corespuns la o saturație de la 40 la 119 (%). Valorile minime au fost înregistrate la stațiile Soroca (4,18 mg/L, octombrie 2022) și Naslavcea (4,68 mg/L, august 2020), în timp ce valoarea maximă a fost înregistrată la stația Goian din lacul de acumulare Dubăsari (12,2 mg/L, februarie 2023). Astfel, calitatea apei Nistrului în funcție de saturația oxigenului a variat de la clasa I la clasa IV.

Pe parcursul anilor 2020-2023, au fost efectuate *in situ* 139 de măsurări ale conținutului de oxigen dizolvat în apa Nistrului în diferite anotimpuri, inclusiv iarna. În paralel, au fost colectate probe pentru determinarea oxigenului dizolvat în condiții de laborator. Pentru analiza statistică, au fost utilizate rezultatele obținute în perioada de vegetație (Tabelul 5).

Tab. 5. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității concentrației oxigenului dizolvat în apa fl. Nistru, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, mg/L	Ns	Vc	Sr	Cm	Hr	Gn	Cr	VlV	Vn	Pl	Per tronson
primăvara											
min	10,69	11,04	9,07	9,30	9,50	8,50	9,26	7,96	7,63	5,30	
max	12,14	12,84	12,69	11,92	12,33	10,76	11,78	11,33	10,98	10,90	
medie	11,24	12,24	10,99	10,75	10,99	9,67	10,78	10,21	9,80	8,75	10,54±0,31
SD	0,79	1,04	1,82	1,33	1,42	1,13	1,34	1,95	1,88	3,02	n = 30
CV (%)	7	8	17	12	13	12	12	19	19	34	
vara											
min	4,68	6,50	6,77	7,21	8,04	9,33	9,24	6,28	6,57	6,30	
max	10,26	9,50	8,97	9,60	9,50	10,00	10,92	8,85	8,78	7,50	
medie	8,07	8,35	7,98	8,63	9,03	9,67	9,84	7,13	7,75	6,71	8,32±0,32
SD	2,39	1,29	1,00	1,03	0,67	0,34	0,76	1,16	0,92	0,54	n = 50
CV (%)	30	15	13	12	7	3	8	16	12	8	
toamna											
min	5,35	6,38	4,18	8,61	8,28	8,65	7,16	7,19	8,13	7,08	
max	7,64	8,50	8,02	12,69	10,50	11,61	12,11	10,56	9,72	10,90	
medie	6,29	7,45	6,18	9,92	9,62	9,60	9,71	8,62	8,89	8,36	8,46±0,44
SD	0,97	0,91	1,65	1,88	0,95	1,35	2,17	1,43	0,66	1,75	n = 40
CV (%)	15	12	27	19	10	14	22	17	7	21	

Ns – Naslavcea, Vc – Vălcineț, Sr – Soroca, Cm – Camenca, Hr – Hârjău, Gn – Goian, Cr – Cocieri, VlV – Vadul lui Vodă, Vn – Varnița, Pl - Palanca

Dinamică sezonieră a oxigenului dizolvat în tronsonul Naslavcea – Palanca, considerat în ansamblu, este exprimată doar pentru două anotimpuri, respectiv primăvara și vara-toamna: 10,5±0,3 (mg/L) primăvara, 8,3±0,3 (mg/L) vara și 8,5±0,4 (mg/L) toamna. Având în vedere dependența solubilității oxigenului de dinamica sezonieră a temperaturii apei, trebuie remarcat faptul că fenomenul nu este unul obișnuit pentru această regiune. Cel mai simplu este să explicăm situația prin schimbări climatice (ștergerea diferenței dintre vară și toamnă), dar, după cum se va arăta mai jos, în r. Prut, situat în aceeași regiune, dinamica analizată este reprezentată de 3 anotimpuri: primăvara, vara și toamna. Vom înțelege cauzele fenomenului cu ajutorul analizei grafice (Figura 6).

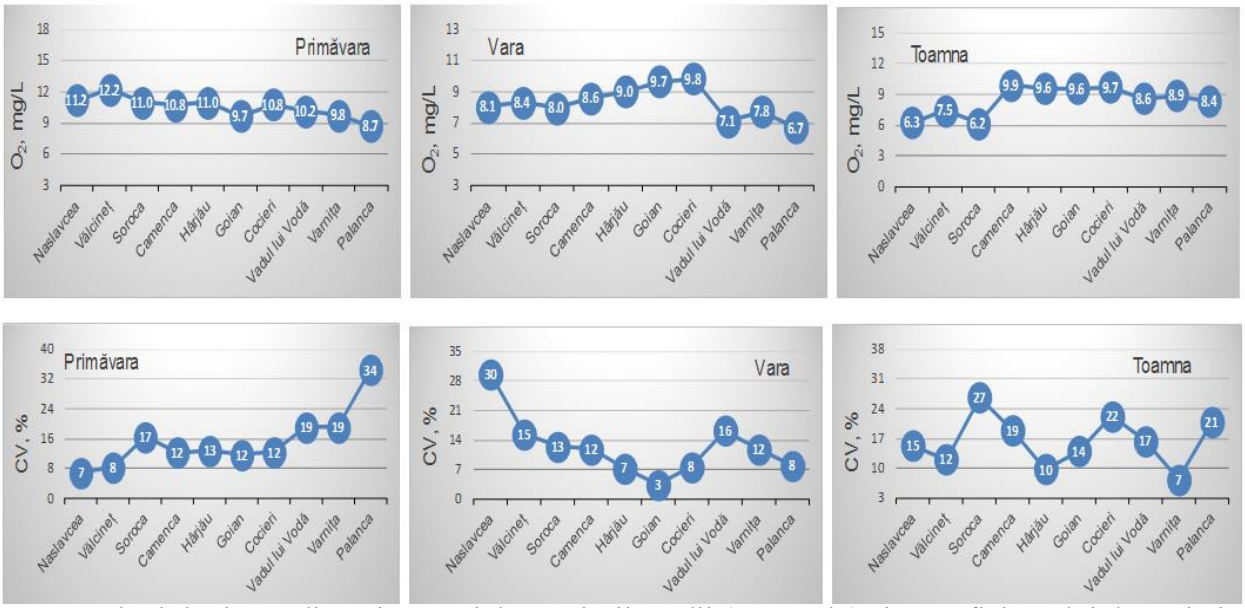


Fig. 6. Fluviul Nistru: dinamica spațială a valorii medii (O_2, mg/L) și a coeficientului de variație (CV, %) pentru parametrul "Oxigen dizolvat", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

O estimare completă a regimului de oxigen al unui curs de apă în sistemele de clasificare a apelor de suprafață include 3 parametri: oxigenul dizolvat propriu-zis (O_2), consumul chimic al acestuia (CCO) și consumul biochimic al acestuia în procesele metabolice ale biotei acvatice (CBO). Această abordare este logică, deoarece concentrația oxigenului într-un anumit biotop este rezultatul proceselor simultane de saturare a apei cu oxigen și de consumare a acestuia prin respirația hidrobionților și oxidarea chimică și biochimică. Atunci când analizăm unul dintre parametrii regimului de oxigen, trebuie să luăm în considerare simultaneitatea acestor procese.

Dinamica de primăvară a oxigenului dizolvat de-a lungul profilului longitudinal al fl. Nistru poate fi acceptată ca fiind destul de naturală cu corespunderea clasei de calitate I. Analiza valorilor de vară ale oxigenului dizolvat relevă 2 zone cu dinamică diferită: în aval de CHE-2, inclusiv lacul de acumulare Dubăsari (8,1-9,8 mg/L) și sectorul inferior Vadul lui Vodă – Palanca (7,1-6,7 mg/L). Pentru temperaturile de vară ale apei, considerăm conținutul de oxigen în sectorul inferior ca fiind unul natural. Conținutul mai mare în tronsonul Naslavcea – Cocieri îl explicăm prin temperatura scăzută de vară a apei care provine de la Complexul Hidroenergetic Nistrean (CHEN). În lacul de acumulare propriu-zis, concentrațiile locale ridicate sunt observate în zonele de activitate fotosintetică a fitoplanctonului și a macrofitelor. Pentru temperatura apei de toamnă, considerăm concentrația oxigenului în aval de Camenca ca fiind naturală (9,9-8,4 mg/L). Dinamica parametrului în tronsonul Naslavcea – Soroca (6,3-6,2 mg/L) este o consecință a încălcării regimului natural de temperatură a apei Nistrului de către CHEN. Cea mai mare variabilitate locală a conținutului de oxigen dizolvat se înregistrează la stațiile: Palanca primăvara și toamna (factori biotici și antropici), Naslavcea vara (CHEN), Soroca toamna (apele uzate neepurate) și Cocieri toamna (factorul biotic).

Pe tronsonul Costești – Giurgiulești al **râului Prut**, au fost efectuate 95 de măsurători ale concentrației oxigenului dizolvat la stațiile de prelevare a probelor și tot același număr de probe a fost transportat în laborator pentru determinarea oxigenului prin metoda Winkler. Conținutul oxigenului în aceste probe a variat de la 3,17 la 13,32 (mg/L), ceea ce a corespuns la o saturație de la 35 la 107 (%). Valorile minime au fost înregistrate la stațiile Câșlița-Prut și Giurgiulești (3,43 și 3,17 mg/L, iulie 2020), în timp ce valorile maxime – la stația Branițte (13,25 și 13,32 mg/L, februarie 2020 și 2023). Pentru analiza statistică, au fost utilizate rezultatele obținute în perioada de vegetație 2020-2023 (Tabelul 6).

Tab. 6. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității concentrației oxigenului dizolvat în apa r. Prut, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, mg/L	Cs	Br	Sc	Lș	Ch	C-P	Gg	Per tronson
primăvara								
min	9,1	9,3	8,9	8,3	8,0	7,6	7,6	
max	11,8	11,5	10,9	10,8	10,6	10,6	10,5	
medie	10,5	10,5	10,0	9,5	9,3	9,1	9,1	9,72±0,23
SD	1,16	1,10	1,07	1,25	1,27	1,67	1,40	n = 28
CV (%)	11	10	11	13	14	18	15	
vara								
min	7,6	6,3	6,7	6,4	6,1	3,4	3,2	
max	9,0	7,7	7,6	7,7	7,4	7,0	7,1	
medie	8,0	7,0	7,2	7,0	6,8	5,6	5,5	6,72±0,35
SD	0,68	0,56	0,41	0,54	0,56	1,51	1,65	n = 28
CV (%)	8	8	6	8	8	27	30	
toamna								
min	7,7	7,2	7,9	7,5	7,3	6,5	7,0	
max	10,0	9,6	10,7	10,5	10,9	9,5	10,3	
medie	9,0	8,4	9,2	8,9	8,9	8,2	8,5	8,72±0,14
SD	1,14	1,33	1,43	1,48	1,72	1,48	1,67	n = 28
CV (%)	13	16	15	17	19	18	20	

Cs – Costești, Br – Branițe, Sc – Sculeni, Lș – Leușeni, Ch – Cahul, C-P – Câșlița-Prut, Gg - Giurgiulești

Conținutul de oxigen dizolvat în apa r. Prut pe tronsonul Costești – Giurgiulești, considerat în ansamblu, are o dinamică sezonieră clară și destul de obișnuită pentru regiune: 9,7±0,2 mg/L primăvara, 6,7±0,4 mg/L vara și 8,7±0,1 mg/L toamna. De-a lungul profilului longitudinal al râului în direcția Costești – Giurgiulești, se observă dinamica descendentă a concentrației oxigenului în apă: 10,5-9,1 (mg/L) primăvara, 8,0-5,5 (mg/L) vara și 9,0-8,5 (mg/L) toamna (Figura 7).

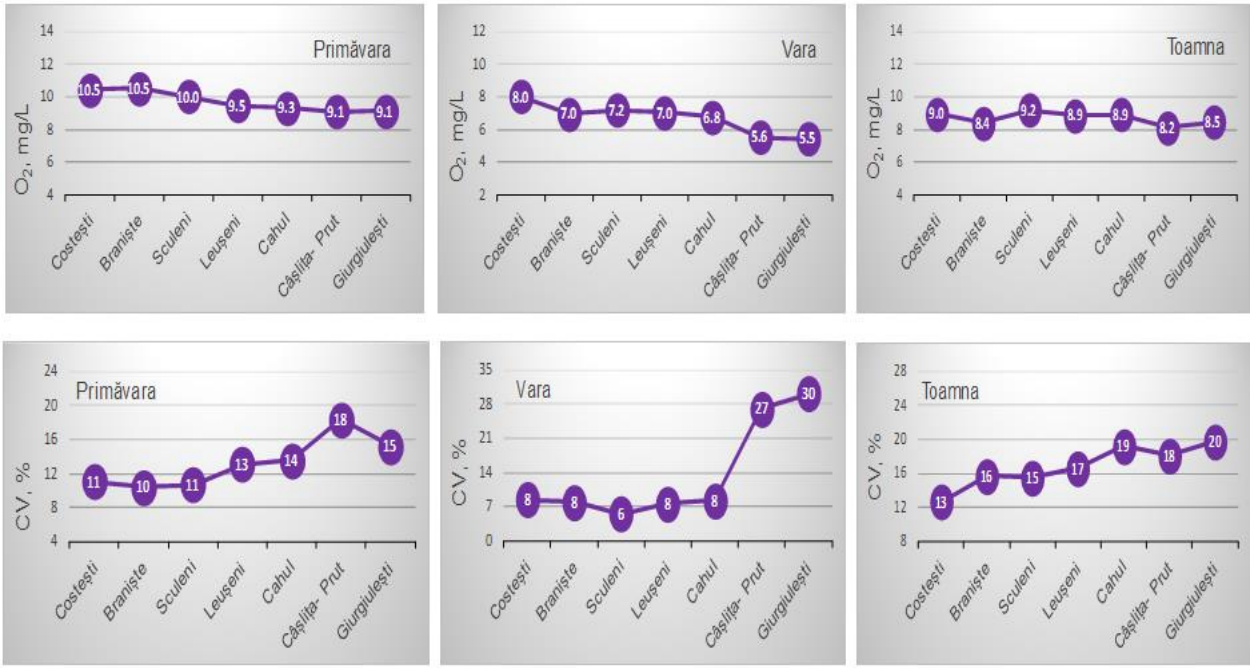


Fig. 7. Râul Prut: dinamica spațială a valorii medii (O_2, mg/L) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Oxigen dizolvat", detaliată pe sezoanele hidrologice 2020-2023

Dinamica spațială a conținutului de oxigen dizolvat în tronsonul Costești – Giurgiulești este slab exprimată atât primăvară, cât și toamna. Valorile medii ale acestui parametru pentru ambele sezoane corespund clasei de calitate I. În timpul verii, clasa de calitate a apei scade de la I în lacul de acumulare Costești-Stânca la III în gura de vărsare a Prutului. Cele mai semnificative fluctuații ale parametrului au fost remarcate în tronsonul Câșlița-Prut – Giurgiulești. Portul Internațional Giurgiulești și refluxul apelor Dunării, cu o presiune de navigație și mai mare, fac ca acest tronson al r. Prut să fie cel mai vulnerabil din punct de vedere al funcționării ecosistemului.

Consumul biochimic de oxigen, CBO_5. Parametrul CBO este un alt indicator al stării regimului de oxigen al apelor de suprafață, care este utilizat pentru a evalua conținutul de materie organică biodegradabilă din apă. Materia organică este cel mai important element structural și funcțional al ecosistemelor acvatice, iar fracțiunea biodegradabilă a acesteia asigură necesarul de energie al heterotrofilor osmotrofici (majoritatea bacteriilor și ciupercilor acvatice) și joacă un rol principal în funcționarea componentei bacteriene din aceste ecosisteme (Veres & Ostapenya, 2011).

Scopul determinării CBO este de a modela procesul de oxidare biologică a substanțelor organice din proba analizată în condiții de laborator. CBO_5 (5 zile de incubare) este un parametru standard în toate sistemele de clasificare a corpurilor de apă de suprafață. Valorile-limită pentru cele 5 clase de calitate din Regulamentul național (2013) sunt următoarele:

Clasa de calitate:	I	II	III	IV	V
Consumul biochimic de oxigen (CBO_5), mg O/L:	3	5	6	7	> 7

Au fost efectuate 139 de determinări ale CBO_5 în apa **fluviului Nistru** în diferite sezoane hidrologice, inclusiv iarna. Valorile parametrului au variat între 0,31 și 4,38 (mg O/L), ceea ce corespunde claselor de calitate I-II. Valoarea minimă a fost înregistrată la stația Vălcineț (0,31 mg O/L, octombrie 2022), în timp ce valorile maxime au fost asociate cu stațiile Goian din lacul de acumulare Dubăsari (4,15 mg O/L, iunie 2022), Varnița (4,27 mg O/L, octombrie 2022) și Soroca (4,38 mg O/L, februarie 2023). Rezultatele analizei statistice a 120 de date procesate sunt prezentate în Tabelul 7.

Tab. 7. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității parametrului CBO_5 în apa fl. Nistru, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, mg O/L	Ns	Vc	Sr	Cm	Hr	Gn	Cr	VlV	Vn	Pl	Per tronson
primăvara											
min	1,18	0,94	1,35	1,08	1,25	1,75	1,75	1,59	1,50	1,84	
max	1,78	2,02	4,38	2,04	2,23	2,69	2,33	2,29	2,40	2,29	
medie	1,49	1,63	2,67	1,61	1,66	2,09	2,06	1,95	1,82	2,08	1,91±0,11
SD	0,30	0,60	1,55	0,49	0,51	0,52	0,29	0,35	0,50	0,23	n = 30
CV (%)	20	37	58	30	31	25	14	18	28	11	
vara											
min	0,62	0,75	0,99	1,23	1,10	1,14	1,24	1,04	1,59	1,26	
max	1,83	1,60	3,52	1,62	1,86	3,40	2,00	1,57	1,75	1,83	
medie	1,25	1,20	2,48	1,43	1,50	1,91	1,57	1,27	1,63	1,53	1,58±0,12
SD	0,52	0,39	1,08	0,16	0,38	1,05	0,35	0,24	0,08	0,24	*n* = 50
CV (%)	42	32	44	12	26	55	22	19	5	16	
toamna											
min	0,56	0,31	0,84	1,25	1,18	1,38	0,74	0,70	0,77	1,11	
max	1,05	0,99	3,92	1,99	1,79	2,31	2,92	1,66	4,27	2,02	
medie	0,80	0,74	2,56	1,48	1,36	1,66	1,61	1,07	2,27	1,49	1,50±0,18
SD	0,23	0,30	1,35	0,34	0,29	0,44	0,93	0,41	1,65	0,39	*n* = 40
CV (%)	29	41	53	23	22	26	58	39	73	26	

Ns – Naslavcea, Vc – Vălcineț, Sr – Soroca, Cm – Camenca, Hr – Hârjău, Gn – Goian, Cr – Cocieri, VlV – Vadul lui Vodă, Vn – Varnița, Pl – Palanca

După cum rezultă din datele prezentate, CBO_5 nu are o variație sezonieră clară în tronsonul Naslavcea – Palanca, luat în ansamblu: 1,9±0,1 mg O/L primăvara, 1,6±0,1 mg O/L vara și 1,5±0,2 mg O/L toamna. Prin urmare, în timpul sezonului de vegetație, concentrația substanțelor organice biodegradabile în apa Nistrului pe teritoriul Republicii Moldova corespunde, în general, clasei de calitate I. Dinamica spațială a CBO_5 este prezentată în Figura 8.

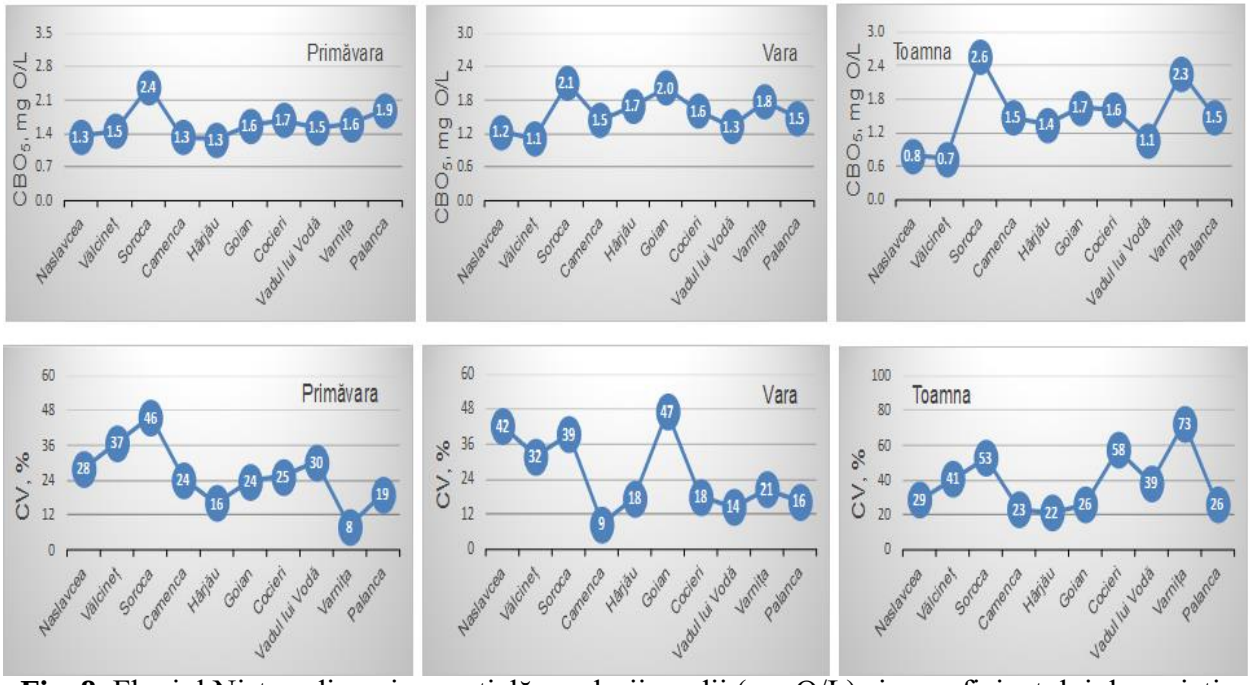


Fig. 8. Fluviul Nistru: dinamica spațială a valorii medii (mg O/L) și a coeficientului de variație (CV, %) pentru parametrul "Consumul biochimic de oxigen" sezoanele hidrologice 2020 -2023

De menționat faptul că fluctuațiile materiei organice autohtone într-un corp de apă au un caracter sezonier asociat cu ciclurile de dezvoltare a hidrobiocenozelor. Absența unei dinamici sezoniere a parametrului CBO_5 ne permite să concluzionăm că în apa Nistrului predomină materia organică de origine alohtonă. Analiza dinamicii spațiale indică locurile unde poluarea organică pătrunde în apa Nistrului pe tot parcursul anului: stațiile Soroca și Varnița (ape uzate insuficient epurate). La stația Goian, din lacul de acumulare Dubăsari, variația sporită a consumului de oxigen în timpul verii este asociată cu dezvoltarea abundentă a vegetației acvatice.

În probele de apă din r. Prut au fost efectuate 95 de determinări ale CBO_5 în diferite sezoane hidrologice din perioada 2020-2023, inclusiv iarna. Intervalul de variație a parametrului a fost 0,43-6,07 (mg O/L), ceea ce corespunde claselor I-III de calitate a apelor de suprafață. Valoarea minimă a fost înregistrată la stația Branișteе (octombrie 2022), în timp ce valoarea maximă – la stația Giurgiulești (februarie 2020). Rezultatele analizei statistice a determinării CBO_5 în apa r. Prut, detaliate pe sezoane hidrologice, sunt prezentate în Tabelul 8.

Tab. 8. Caracteristici statistice (*CS*) ale variabilității parametrului CBO_5 în apa r.Prut, detaliate pe sezoane hidrologice 2020-2023

CS, mg O/L	Cs	Br	Sc	Lș	Ch	C-P	Gg	Per tronson
primăvara								
min	0,82	0,78	0,86	1,09	1,05	1,12	1,07	1,53±0,05 n = 28
max	2,86	2,41	1,75	1,82	2,53	2,31	2,37	
medie	1,49	1,61	1,28	1,44	1,65	1,67	1,57	
SD	0,94	0,70	0,44	0,38	0,67	0,54	0,57	
CV (%)	63	44	34	27	41	32	37	

vara								
min	1,10	0,72	0,64	0,83	0,85	1,24	1,16	
max	1,80	1,15	1,43	1,35	1,60	2,42	2,19	
medie	1,47	1,00	0,98	1,11	1,32	1,64	1,71	1,32±0,11
SD	0,30	0,19	0,36	0,21	0,33	0,53	0,53	n = 28
CV (%)	20	19	37	19	25	32	31	
toamna								
min	0,86	0,43	0,69	0,92	0,49	0,66	0,49	
max	1,73	0,98	2,69	1,99	2,45	1,40	1,65	
medie	1,16	0,74	1,45	1,27	1,21	1,01	1,09	1,13±0,08
SD	0,39	0,23	0,87	0,49	0,90	0,32	0,51	n = 28
CV (%)	34	31	60	39	75	32	47	

Cs – Costești, Br – Branițe, Sc – Sculeni, Ls – Leușeni, Ch – Cahul, C-P – Câșlița-Prut, Gg - Giurgiulești

Intervalul larg al valorilor CBO_5 în probele instantanee de apă din r. Prut nu a influențat semnificativ rezultatul statistic al acestui parametru pentru întregul tronson Costești – Giurgiulești, variind în limitele clasei I de calitate, fără o dinamică sezonieră distinctă: 1,5±0,1 mg O/L primăvara, 1,3±0,1 mg O/L vara și 1,1±0,1 mg O/L toamna. Analiza grafică ne permite să evaluăm variabilitatea parametrului CBO_5 în fiecare stație (Figura 9).

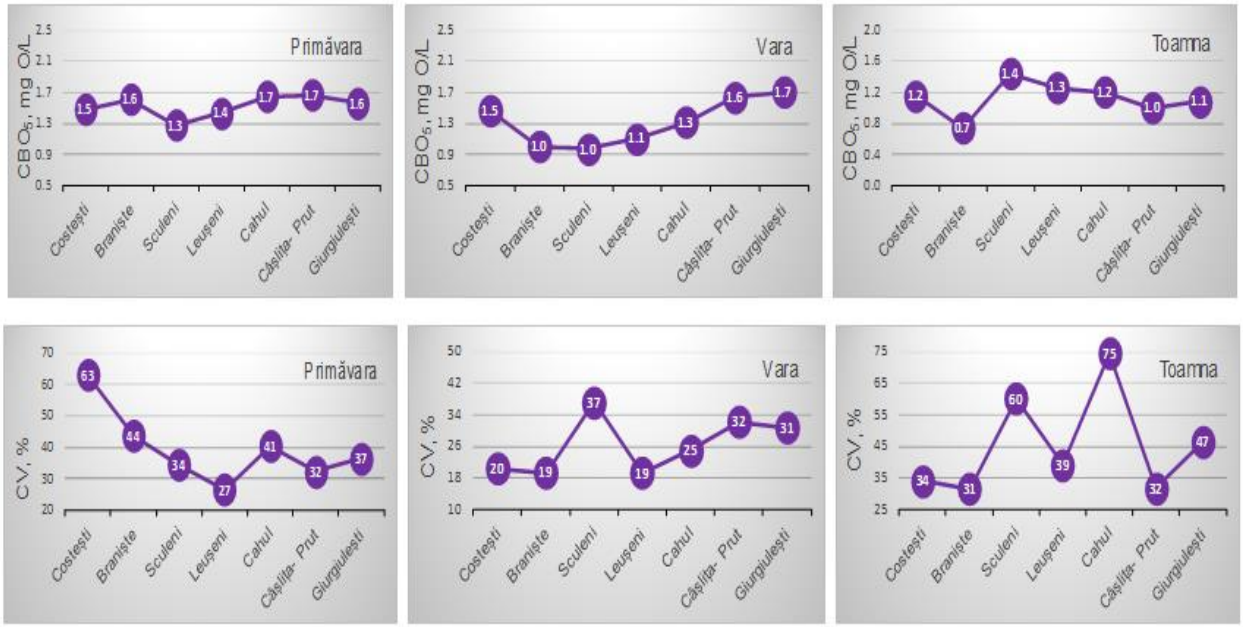


Fig. 9. Râul Prut: dinamica spațială a valorii medii (mg O/L) și a coeficientului de variație (CV,%) pentru parametrul "Consumul biochimic de oxigen", sezoanele hidrologice 2020-2023

De menționat că dinamica spațială a conținutului de materie organică biodegradabilă în tronsonul Costești – Giurgiulești este eterogenă, și, prin urmare, poate fi rezultatul impactului simultan al mai multor factori. Locația mai instabilă este stația Branițe, în care valorile CBO_5 au variat în probele instantanee de la 0,43 la 2,41 (mg O/L). Studiile noastre pe termen lung asupra ecosistemului r. Prut arată că tronsonul din avalul Centralei Hidroelectrice Costești este o zonă de adaptare a microbiotei râului la hidrocarburi (Jurminskaia et al., 2023). Stațiile de transformare situate direct în lunca râului sunt o componentă necesară a sistemului de energie electrică și un potențial poluant al râului cu hidrocarburi. Uleiul de transformator este un substrat organic greu degradabil, dar acumularea sa pe termen lung în sedimentele de fund formează cenoze bacteriene care influențează rezultatul determinării CBO în probe. Stațiile cu o variabilitate semnificativă a

conținutului de materie organică biodegradabilă în apa r. Prut sunt Sculeni și Cahul (factorul antropic), precum și Costești (factorul biotic).

Identificarea intervalului modal al indicatorilor de calitate. Pentru a evalua starea actuală a calității apei râurilor Nistru și Prut, pe baza rezultatelor obținute în perioada 2020-2023, a fost utilizată o metoda de identificare a intervalelor modale ale indicatorilor de stare ecologică a ecosistemului acvatic (R 52.24.862-2017). Metoda include: 1) formarea bazei de date; 2) selectarea indicatorilor hidrochimici ai stării ecosistemului fluvial ținând cont de particularitățile funcționării acestuia; 3) prelucrarea statistică a datelor și 4) construirea unei histograme cu intervale de frecvență a distribuției datelor procesate. Intervalul cu cel mai mare număr de valori este intervalul modal. În funcție de limitele intervalului modal, evaluăm clasa de calitate a apei pentru un corp de apă sau un sector luat în considerare. Pentru a identifica intervalele modale, au fost selectați indicatorii de calitate (reacția activă a apei, conținutul de oxigen dizolvat și consumul biochimic de oxigen), valorile-limită ale claselor de calitate care sunt definite în Regulamentul (2013). Pentru fl. Nistru, histogramele cu intervalele modale identificate sunt prezentate în Figurile 10 - 12, iar pentru r. Prut – în Figurile 13 - 15.

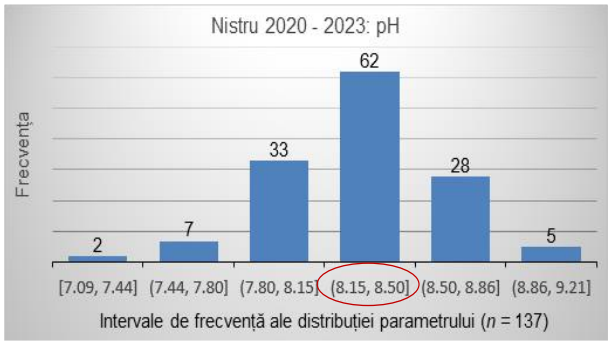


Fig. 10. Identificarea intervalului modal pentru pH-ul apei fl. Nistru

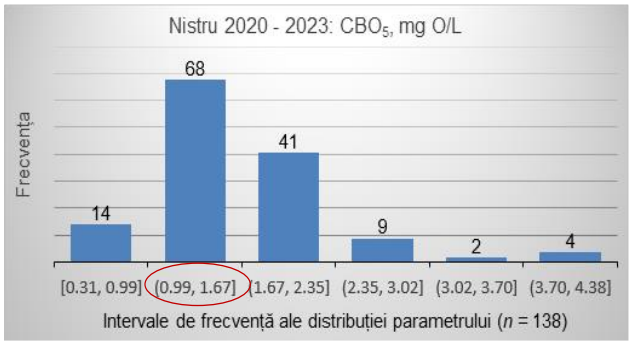


Fig. 11. Identificarea intervalului modal pentru oxigenul dizolvat în apa fl. Nistru

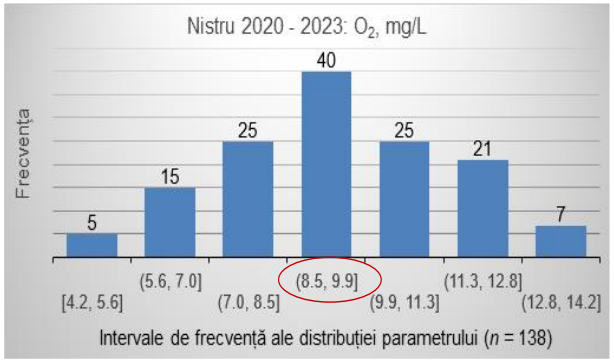


Fig. 12. Identificarea intervalului modal pentru CBO_5 în apa fl. Nistru

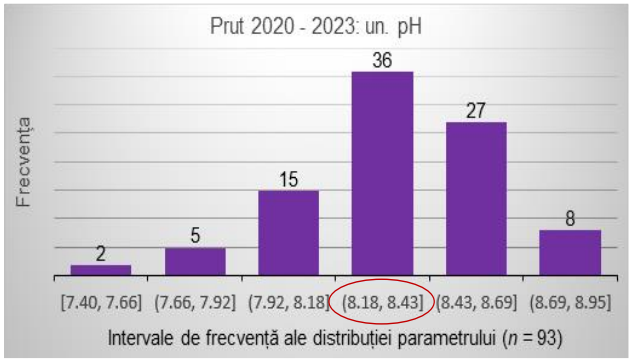


Fig. 13. Identificarea intervalului modal pentru oxigenul dizolvat în apa r. Prut

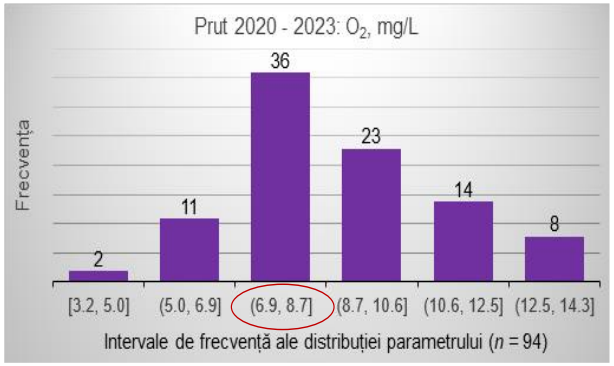


Fig. 14. Identificarea intervalului modal pentru oxigenul dizolvat în apa r. Prut

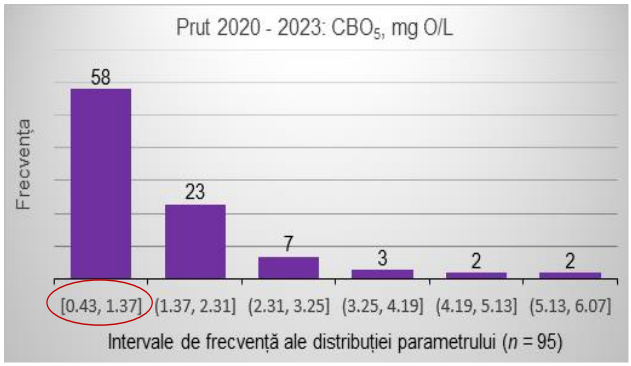


Fig. 15. Identificarea intervalului modal pentru CBO_5 în apa r. Prut

Calitatea apei în tronsonul Naslavcea – Palanca, per total, și în tronsonul Costești – Giugiulești, per total, evaluată în funcție de intervalul modal al indicatorilor fizico-chimici analizați, este prezentată în Tabelul 9.

Tab. 9. Calitatea apei râurilor Nistru și Prut în perioada 2020-2023

	Intervalul modal pH, un. pH	Clasa de calitate	Intervalul modal O_2, mg/L	Clasa de calitate	Intervalul modal CBO_5, mg O/L	Clasa de calitate
Nistru	8,15 – 8,50	I	8,5 – 9,9	I	0,99 – 1,67	I
Prut	8,18 – 8,43	I	6,9 – 8,7	III – I	0,43 – 1,37	I

CONCLUZII

Analiza intervalului de variație a indicatorilor de calitate a apei atât în aspect sezonier, cât și spațial, face posibilă elucidarea potențialului de rezistență a ecosistemului fluvial în condiții de încărcare antropogenă și schimbări climatice. Modul în care se utilizează datele poate influența rezultatul cercetării. Rezultatele unor indicatori de calitate în probele instantanee nu ar trebui să fie considerate ca un dezastru ecologic, deoarece acestea pot fi rezultatul unei combinații de factori pe termen scurt. Astfel de indicatori sunt, printre altele, indicele de hidrogen, concentrația oxigenului dizolvat, consumul chimic și biochimic de oxigen. O evaluare obiectivă poate fi obținută prin analizarea datelor pentru o anumită perioadă, aleasă în funcție de scopul cercetării.

Peste 300 de măsurători ale temperaturii apei, pH-ului și concentrației oxigenului dizolvat – indicatori de calitate – au fost efectuate *in situ* în fluviul Nistru și aproape la fel de multe în râul Prut în perioada 2020-2023. Peste 400 de determinări ale oxigenului dizolvat și ale consumului biochimic de oxigen au fost realizate în condiții de laborator. La unele stații au fost înregistrate depășiri semnificative ale valorilor-limită nu numai pentru clasa de calitate I, ci și pentru clasele de calitate II și III. În cazul în care astfel de excese se echilibrează deja la următoarea stație de observare, considerăm că ecosistemul are un bun potențial de auto-restaurare. Problemele persistente ale ecosistemelor studiate sunt următoarele:

Pentru fl. Nistru este caracteristic:

- alterarea regimului natural de temperatură (tronsonul afectat este Naslavcea – Soroca);
- scurgerea apelor menajere direct în fl. Nistru (stațiile afectate sunt Soroca, Camenca, Varnița) sau cu afluenții lui – Răut, Ichel (Vadul lui Vodă), Bâc (și în acest caz – Varnița);
- reglarea debitului și captarea neîngrădită pentru alimentarea cu apă a populației și a sectorului industrial, drept consecință – micșorarea adâncimii Nistrului pe teritoriul RM, reducerea vitezei de curgere, dezvoltarea excesivă a hidrofitelor și algelor, rezultând o poluare secundară.

Pentru r. Prut este caracteristic:

- poluarea industrială a apei de la posturile de transformare amplasate în lunca râului în aval de CHE Costești (stația afectată – Branițte), navigația (tronsonul afectat Cahul – Giurgiulești), funcționarea portului (stația afectată – Giurgiulești) și refluxul apei Dunării (sectorul afectat Câșlița-Prut – Giurgiulești);
- scurgerea apelor menajere insuficient epurate direct în r. Prut (Sculeni, Leușeni, Cahul) și cu afluentul lui Jijia (tronsonul afectat – în aval de stația Leușeni);
- reglarea debitului și captarea pentru alimentarea cu apă a populației și a sectorului industrial, ca o consecință – reducerea nivelului apei, agravată de secetele hidrologice.

În ceea ce privește pH-ul, conținutul de oxigen dizolvat și CBO_5, calitatea apei Nistrului la diferite stații de observare și în diferite sezoane hidrologice a variat între clasele I și IV. Dacă luăm în considerare tronsonul Naslavcea – Palanca ca un tot întreg, rezultatul echilibrat ar corespunde clasei de calitate I. În ceea ce privește temperatura apei, starea tronsonului Naslavcea – Soroca ar trebui să fie clasificată ca fiind poluată termic.

Temperatura apei r. Prut în tronsonul Costești – Giurgiulești variază în mod obișnuit, în conformitate cu sezonul hidrologic. Reacția activă a apei, în majoritatea cazurilor, corespunde clasei de calitate I. Conținutul oxigenului în apă variază mai semnificativ în tronsonul Câșlița-Prut – Giurgiulești. În timpul verii, clasa de calitate a apei în funcție de oxigenul dizolvat scade de la I în lacul de acumulare Costești-Stânca la clasa III în gura de vărsare a Prutului. Calitatea apei în funcție de CBO_5 corespunde, în majoritatea cazurilor, clasei I, dar în timpul sezoanelor de secetă hidrologică (nu numai vara, ci și iarna) poate ajunge la clasa III.

Lucrarea este realizată în cadrul proiectului 20.80009.7007.06 Determinarea schimbărilor mediului acvatic, evaluarea migrației și impactului poluanților, stabilirea legităților funcționării hidrobiocenozelor și prevenirea consecințelor nefaste asupra ecosistemelor – AQUABIO (Program de Stat 2020-2023).

REFERINȚE

1. ALIMOV, A.; BOGATOV, V.; GOLUBKOV, S. Hidrobiologia productivă. SPb.: Nauka, 2013, p. 6 (in limba rusă).
2. JURMINSKAIA, O.; ZUBCOV, E.; NEGRU, M.; BAGRIN, N.; ENE, A. Study of the hydrocarbon-oxidizing activity of bacterioplankton in the Moldavian section of the Prut River. In: Annals of "Dunărea de Jos" University of Galati mathematics, physics, theoretical mechanics fascicle II, 2023, pp. (in print).
3. JURMINSKAIA, O.; BAGRIN, N.; ZUBCOV, E. Evaluarea schimbărilor componenței chimice și calității apei în bazinul hidrografic al fluviului Nistru. În: Materiale simpozionului "Modificări funcționale ale ecosistemelor acvatice în contextul impactului antropic și al schimbărilor climatice". Chișinău, 2020, pp. 10 – 17.
4. LAKIN, G. Biometrie. Moscova: Vysshaya Shkola, 1980, p. 53 (in limba rusă).
5. OZBAYRAM, E.; CAMUR, D.; KOKER, L.; OGUZ, A.; AKCAALAN, R.; ALBAY, M. The effects of climate change on aquatic ecosystems in relation to human health. In: Aquatic Sciences and Engineering. 37(3), 2022, pp. 123. DOI: https://doi.org/10.26650/ASE20221057160.
6. R 52.24.862-2017 Selectarea limitelor admisibile ale fluctuațiilor indicatorilor hidrochimici informativi ai stării ecosistemelor fluviale situate în diferite condiții naturale și climatice. Rostov-on-Don, 2017, pp. 1 – 19 (in limba rusă).
7. REGULAMENTUL cu privire la cerințele de calitate pentru apele de suprafață. HG RM nr. 890 din 12.11.2013. În: Monitorul Oficial nr. 262 – 267, 22 noiembrie 2013.
8. SM SR EN 1899-2:2007 Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile (CBOn). Partea 2: Metoda pentru probe nediluate. Chișinău, INSM, 2007.
9. SM SR EN 25813:2011/C91:2012 Calitatea apei. Determinarea conținutului de oxigen dizolvat. Metoda iodometrică. Chișinău, INSM, 2012.
10. VERES, K.; OSTAPENYA, A. Conținutul de materie organică labilă în apa lacurilor din regiunea Narochansky. În: Vestnik BSU, seria 2, nr. 2, 2011, pp. 45 – 49 (in limba rusă).
11. ZUBCOV, E.; ANDREEV, N.; BULAT, D. Modificările ecosistemelor acvatice și indicatorii ecologici de monitorizare a impactului complexelor hidroenergetice asupra ecosistemelor acvatice transfrontaliere. În: Materiale simpozionului "Modificări funcționale ale ecosistemelor acvatice în contextul impactului antropic și al schimbărilor climatice". Chișinău, 2020, pp. 4 – 9.
12. ZUBCOV, E.; UNGUREANU, L.; BILEȚCHI, L.; BAGRIN, N.; ANDREEV, N.; ZUBCOV, N.; JURMINSKAIA, O.; CIORNEA. V. Modificările ecosistemelor acvatice și indicatorii ecologici de monitorizare a impactului complexelor hidroenergetice asupra ecosistemelor acvatice transfrontaliere. În: Ghid metodologic pentru monitorizarea impactului hidroenergetic asupra ecosistemelor fluviale transfrontaliere. Chișinău, 2021, pp. 6 – 11.
13. ZVEZDINA, T.; PHILIPENKO, S. Hidroconstrucția ca factor de impact antropogen asupra ecosistemelor. În: Proceedings of the International Conference «Hydropower impact on river ecosystem functioning». Tiraspol: Eco-Tiras, 2019, pp. 123 – 127 (in limba rusă).