

УДК 556.5:504

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2024.1.9>

ВПЛИВ ВІЙНИ НА СТАН АКВАТОРІЇ ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКОЇ ЕСТУАРНОЇ СИСТЕМИ ТА ЧОРНОГО МОРЯ

¹Пічура В.І. – д. с.-г. н., професор

¹Потравка Л.О. – д. е. н., професор

²Багінський О.С. – начальник екологічної інспекції

¹Херсонський державний аграрно-економічний університет,

²Екологічна інспекція Новокаховської військової адміністрації

pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com

Екологічні наслідки території ведення воєнних дій знижують рівень екологічної безпеки України, насамперед, у прифронтових регіонах, районах бойових дій та окупованих територій. Ситуація у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі значно ускладнилася після 06/06/2023 року, коли було знищено дамбу Каховської гідроелектростанції. В результаті підриву дамби відбулося переміщення значних обсягів полютантів через Дніпровсько-Бузький лиман до акваторії Чорного моря, осушення і трансформація акваторії водосховища. Метою дослідження було встановлення просторово-часових закономірностей у формуванні якості поверхневих вод за 2021–2023 роки та визначення впливу російської збройної агресії на функціонування акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи та забруднення Чорного моря. Дослідження проведено за гідрологічними, біологічними і фізико-хімічними індикаторам, кожен з яких дає унікальне уявлення про стан якості води та функціонування акваторії. Встановлено негативні наслідки воєнних дій, які призвели у 2023 році до руйнації Каховської дамби, осушення водосховища, винесення полютантів концентрацією 1,1–51,8 ГДК та забруднення водних ресурсів на 6800 км² акваторії естуарної системи та Чорного моря. Погіршилися у 1,42–1,82 рази сезонні характеристики гідрологічного режиму Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Це призвело до застою водних мас, збагачення біогенними речовинами водних джерел у 2,1 рази, підвищення щільності розподілу водоростей та збільшення концентрації хлорофілу у 2,9 рази, прогресуванню евтрофікації та погіршення поверхневий вод до політрофного стану, погіршення фізико-хімічних властивостей води до 4,0 разів. За фізико-хімічними властивостями близько 70,2 % акваторії характеризуються значним рівнем порушення стійкості гідроекосистеми та екологічного регресу. Отримані результати є важливим доказом наслідків екоциду російським збройним агресором проти України.

Ключові слова: вплив війни, якість води, Каховське водосховище, Дніпровсько-Бузька естуарна система, річка Дніпро, біоцилісність, картування, дистанційне зондування Землі.

Постановка проблеми. Якість води є основою безпеки та стійкості водних ресурсів, містить показники здоров'я водних екосистем. Прісноводні джерела являються головною умовою існування людських спільнот, гідробіонтів та продовольчої безпеки держави. Швидке зростання чисель-

ності населення, посилення урбанізації на водозборах річок та екстенсивна господарська діяльність, стали основними причинами деградації і трансформації водних об'єктів. Однією із найбільших транскордонних річок Європи є Дніпро, площа басейну якої становить 511 тис. км² (57,3 % прощі знаходиться у межах України). Басейн річки охоплює понад 48 % території України, акумулює близько 80 % її водних ресурсів, які забезпечують продовольчі та питні потреби більше 70 % населення України. На території басейну Дніпра зосереджено великі промислові комплекси (понад 60 % вітчизняного промислового виробництва), сільськогосподарські угіддя (агрогенна трансформація в межах української частини басейну складає більше 70 %), найбільші міські агломерації країни [1–3].

Деструкція екологічної ситуації у басейні Дніпра пов'язана з вирубуванням лісів, «хімізацією» сільського господарства, створенням та функціонуванням каскаду дніпровських водосховищ, скиданням значних обсягів забруднених вод тощо [4–6]. На сьогодні екологічна ситуація ускладнилася воєнною російською агресією. Бойові дії мають за наслідки катастрофічні втрати навколишнього середовища, що виражаються знищенням природних ландшафтів, видового складу флори і фауни, забрудненням водних джерел, знищенням родючого шару ґрунту.

Екологічні наслідки територій ведення воєнних дій знижують рівень екологічної безпеки України, насамперед, у прифронтових регіонах, районах бойових дій та окупованих територій. Ситуація у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі значно ускладнилася після 06/06/2023 року, коли було знищено дамбу Каховської ГЕС [7–11]. В результаті підриву дамби відбулося переміщення значних обсягів полютантів через Дніпровсько-Бузький лиман до акваторії Чорного моря, осушення і трансформація акваторії водосховища. Підрив дамби став причиною техногенної катастрофи, яка має екологічні, економічні та соціальні наслідки. Згідно з даними ООН, збитки України від підриву дамби становлять понад 18,0 млрд дол. США. Стосовно впливу наслідків підриву дамби на навколишнє середовище варто зазначити, що обсяги екологічних втрат, що виражаються погіршенням гідрологічних, біологічних та фізико-хімічних умов, посиленням евтрофікаційних процесів та проявами екологічних проблем у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі та акваторії Чорного моря, дозволяють віднести вчинені дії до рівня екоциду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні українською та міжнародною спільнотою активно обговорюється питання доцільності відбудови дамби гідроелектростанції та заповнення Каховського водосховища [7–11]. Слід відмітити, що екологічний стан у період функціонування акваторії водосховища за показниками якості поверхневих вод характеризувався незадовільним станом, але водосховище мало важливе господарське

та соціально-економічне значення для водо-дефіцитних регіонів зони Степу України [6, 12]. Зокрема, водні скиди водосховища до пониззя Дніпра мали важливе значення у забезпеченні екологічно необхідного стоку та водності функціонування естуарної системи. У свою чергу, Дніпровсько-Бузька естуарна система є важливим водним осередком сталого природного існування водної флори і фауни, джерелом забезпечення водними ресурсами рибогосподарських, питних, культурно-побутових та рекреаційних потреб населення [13, 14]. У цьому контексті естуарна система стала чутливим індикатором впливу наслідків російської збройної агресії, що проявляються через деградацію та трансформацію природного середовища. Тому, у прийнятті рішення щодо доцільності повоєнної відбудови Каховського водосховища, необхідно врахувати зміни функціонування акваторії та якості поверхневих вод Дніпровсько-Бузької естуарної системи.

Постановка завдання. Встановити просторово-часові закономірності формування якості поверхневих вод за 2021–2023 роки та визначення впливу російської збройної агресії на функціонування акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи та забруднення Чорного моря.

Матеріали та методи досліджень. Схема і матеріали досліджень. Схема дослідження просторово-часових закономірностей формування якості поверхневих вод та міграція полутантів у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі та акваторії Чорного моря включає чотири логічно-послідовних блоки (рисунок 1).

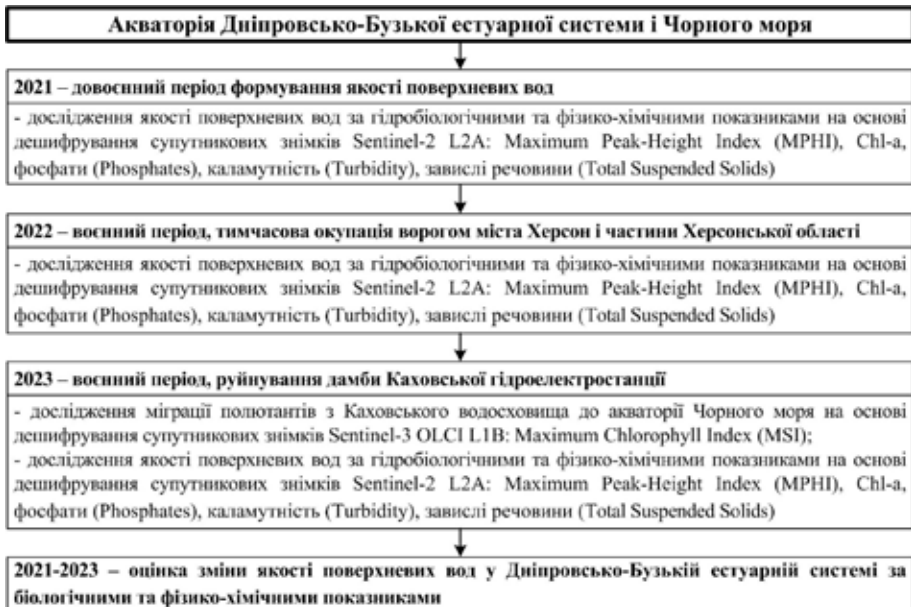


Рис. 1. Структурно-логічна методологічна схема дослідження

Для аналіз стану поверхневих вод за 2021–2023 роки використано фактичні дані польових натурних спостережень і оприлюднені дані Держаної екологічної інспекції Південного округу (ДЕПО) України. Джерелом актуальних супутникових знімків для дешифрування та розрахунку необхідних індексів є дані космічних апаратів Sentinel 2 L2A, Sentinel-3 OLCI L1B із сайту Copernicus Browser.

Характеристики території дослідження. Дніпровсько-Бузька естуарна система – це гіперекосистема, яка складається з Дніпровсько-Бузької гирлової області, що тягнеться від дамби Каховської гідроелектростанції (ГЕС) і гирла р. Південний Буг до Кінбурнської протоки, яка з'єднує Дніпровсько-Бузький лиман з Чорним морем і включає об'єднані приморські райони двох річок (Дніпра й Південного Бугу). Приморський район Дніпра складається з пригирлової та гирлової (дельта) ділянок. Пригирлова ділянка розташована між греблею Каховської ГЕС та м. Херсон. Гирлова ділянка Дніпра являє собою розвинену дельту, яка ділиться на великі та малі рукава, численні протоки і заплавні озера. Акваторія досліджень (рисунок 2) склала 810 км², загальною довжиною 150,8 км.

Пониззя Дніпра включає водні мозаїчно-неоднорідні ділянки руслової та дельто-озерної систем від зруйнованої дамби Каховської гідроелектростанції до гирла річки, протяжністю близько 94,4 км. Загальна площа водозбору пониззя Дніпра складає 492 км². Гідрологічний, біологічний та фізико-хімічний стан пониззя Дніпра до 06/06/2023 року залежав від режиму роботи Каховської ГЕС і попусків води через її греблю. На сьогодні стан пониззя Дніпра залежать від режиму роботи Дніпровської ГЕС на відстані 230 км вгору по течії від зруйнованої дамби Каховської ГЕС. Мозаїчна неоднорідність пониззя річки характеризується трьома ділянками акваторії, які обумовлені різними факторами формування якості поверхневих вод.

Перша ділянка, від дамби Каховської гідроелектростанції до Антонівської залізничного мосту, протяжністю 48,7 км, характеризується надходженням поверхневих вод з водосховища, відносно добрими умовами формування гідрологічного режиму та якості поверхневих вод, які наближені до фонових зональних характеристик пониззя Дніпра.

Друга ділянка, від Антонівського залізничного мосту до початку дельтової системи Дніпра, протяжністю 19,6 км, характеризується посиленням негативним впливом високо мінералізованих поверхневих вод правої притоки річки Інгулець та надходженням неочищених поверхневих стоків міста Херсон. Забруднення поверхневих вод річки Інгулець відбувається в результаті скидів рудникових вод та промислових стічних вод Криворізьким та Інгулецьким гірничо-збагачувальними комбінатами, що обумовлює надходження сухого залишку від 2150 до 3900 мг/дм³, в тому числі хлори-



Рис. 2. Акваторія Дніпровсько-Бузької естуарної системи

Акваторія Пониззя Дніпра – довжина русла 94,4 км: I – від дамби Каховської гідроелектростанції до Антонівського залізничного мосту, в межах гирла річки Інгулець; II – від Антонівського залізничного мосту до початку дельтової системи Дніпра, в межах міста Херсон; III – від початку дельтової системи річки до гирла Дніпра.

Дніпровсько-Бузький лиман – довжина 56,4 км: IV – Східний район; V – Центральний район; VI – Західний район

дів (Cl^-) у межах 425–1365 мг/дм³, сульфатів (SO_4^{2-}) – 670–842 мг/дм³ [15]. Зокрема, посилений негативний вплив на річку Дніпро вчиняють поверхневі стоки міста Херсон, поверхневі води цієї ділянки акваторії, відповідно до норм придатності вод для рибогосподарського призначення, відповідають класам «брудна» – «дуже брудна». Основним поліютантом, що спричиняє погіршення якості дніпровської води, є значне перевищення вмісту нафтопродуктів, які потрапляють у приміську акваторію річки із міськими неочищеними стічними водами.

Третя ділянка, від початку дельтової системи річки до гирла Дніпра, протяжністю 26,1 км, характеризується надходженням каналізаційних стоків міста Херсон та формуванням застійних озерних вод із низькою або

середньою проточністю у дельті Дніпра. Міські очисні споруди із загальною площею 85,2 га мають очисну потужність у 45–50 тис. м³ стоків за добу. Загальна довжина мережі водовідведення становить 297 км. Очисні споруди міста побудовано у 1975 році, вони мають двоступеневу схему очищення стоків: механічна очистка – решітки, пісколовки і первинні відстійники, які утримують важкі забруднення і очищують каналізаційні води на 35–40 %; біологічна очистка – очищення стічної води біоорганізмами, життєдіяльність яких підтримується подачею кисню (аеротенки), що дозволяє здійснити очистку вод до рівня 90 % і більше [16].

У період 2016–2021 рр. середнє значення окремих показників гідрохімічних властивостей каналізаційних скидів, які надходять безпосередньо до акваторії р. Вирьовчина і перерозподіляються до річок Кошова та Дніпро, у відповідності до критеріїв рибогосподарського використання, характеризувалося перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК), зокрема: вміст завислих речовин – в 4,2 рази, фосфатів – у 3,6 рази; сухого залишку – у 1,3 рази; сульфатів – у 1,7 рази; хлоридів – у 1,2 рази; натрію+калію – у 2,6 рази; азоту амонійного – у 3,8 рази; нафтопродуктів – у 2,0 рази. Такий рівень забруднення негативно впливав на функціонування гідроекосистеми пониззя Дніпра. Насамперед, невчасна очистка біологічних ставів спричиняла скиди значних обсягів забрудненого мулу, що стало причиною потрапляння у Дніпро 400 тонн поверхнево-активних речовин, окисів азоту, сірки, фосфору, нафтопродуктів тощо [2, 3, 16].

Дельта Дніпра є другою за величиною в Україні, після дельти Дунаю. Її площа становить близько 350 км², включає протоки, заплавні озера й озерця, заводи, заболочені ділянки, рукави, притоки та частину невеликих наносних островів у самому лимані. Своїми розмірами виділяється Великий Потьомкінський острів. Інші великі острови: Бакайський, Білогрудий, Борщовий, Великий, Великий Соколин, Гапський, Забич, Карантинний, Круглик, Толока. Основні рукави дельти: Рвач (судноплавний рукав), Конка, Кошова, Старий Дніпро, Перебійна, Чайка, Канава, Нова Конка, Серединка, Литвинка, Свинячка, Корабела. Дельта Дніпра входить до пониззя річки, води якої впадають в Дніпровсько-Бузький лиман.

Дніпровсько-Бузький лиман – відкритий олігогалінний лиман північної частини Чорного моря, знаходиться у межах Херсонської і Миколаївської областей України. Лиман є мілководним, його середня глибина становить 3,5–4,0 м, максимальна 12,0 м. З Чорним морем лиман з'єднується протокою шириною 3,6 км (між Очаківським мисом та Кінбурнською косою). Південне узбережжя має низькі, піщані береги; північне – здебільшого, високі (до 20–35 м) обривисті береги, складені з глинисто-піщаних порід, на окремих ділянках зустрічаються піщано-мушлеві коси. Дно біля кіс піщане, на глибині вкрите суглинисто-піщаними мулами. Поверхневий

стік у лиман складається на 94,3 % зі стоку Дніпра, на 5,7 % зі стоку Південного Бугу. Територія досліджень лиману поділяється на три частини: ділянки IV – Східний район, V – Центральний район, VI – Західний район. Східний район лиману знаходиться безпосередньо під впливом стоку Дніпра. Швидкість течій у цьому районі має переважно сезонний характер, оскільки безпосередньо залежить від витрат Дніпра впродовж року. Центральний район лиману знаходиться під впливом річкових та морських вод. Ділянка перебуває у зоні трансформації річкових вод у солонуваті. Водні маси розшаровані по вертикалі, що сповільнює процес їх перемішування та у жаркі періоди призводить до формування анаеробних зон. Західний район знаходиться під переважним впливом морських вод. Середня солоність води лиману складає 3,6 ‰. Зокрема, у Східному районі варіює від 1,0 до 3,3 ‰, Центральному – 1,0–6,0 ‰, Західному – 1,0–11,0 ‰.

Методи дослідження. Дослідження трофічного стану поверхневих вод у акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи здійснено на основі розрахунку інтенсивності насичення плаваючих водоростей пігментом хлорофілу (Chl-a, мкг/дм³) за Maximum Peak-Height Index (MPHI) [17]:

$$\text{MPHI} = B5 - B4 - \frac{(B8 - B4) \times (705 - 665)}{842 - 665} \rightarrow \text{Chl-a} = 2223.18 \text{MPHI} + 24.03, \quad (1)$$

де B4, B5 і B8 – смуги відбиття, а $\lambda B4 = 665$ нм, $\lambda B5 = 705$ нм і $\lambda B8 = 842$ нм – центральні довжини хвилі відповідних смуг Sentinel-2.

L2A. Значення MPHI змінюється від -1.0 до 1.0. Значення вище MPHI = 0,004 ідентифікує наявність Chl-a у водоростях поверхневого шару акваторії.

Вміст фосфатів (мгP/дм³) розраховано на основі встановленої залежності (дослідження авторів):

$$P = 0.0102 \text{Chl-a}^{0.6995}, \quad r^2 = 0.984. \quad (2)$$

Каламутність поверхневих вод (Turb, NTU) визначалася за формулою [18]:

$$\text{Turb} = 194.79 \left(B5 \times \left(\frac{B5}{B2} \right) \right) + 0.9061, \quad (3)$$

де B4, B5 і B8 – смуги відбиття Sentinel-2 L2A.

Завислі речовини (Total Suspended Solids – TSS, мг/дм³) розраховано на основі встановленої залежності [19]:

$$\text{TSS} = 3.4216 \text{Turb}, \quad r^2 = 0.987. \quad (4)$$

Якість поверхневих вод визначалося за класифікацією представленою у таблиці 1 [19, 20].

До I класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх гідрохімічних і гідробіологічних показників близькі до природних значень даного регіону. Для вод II класу характерні

Таблиця 1. Оцінка якості поверхневих вод за екологічною класифікацією, класи та категорії

Клас якості вод	I	II	III	IV	V
Категорія якості води	1	2	3	4	5
Chl-a, мкг/дм ³	<2	2-4	5-10	11-30	31-50
Фосфати (мгР/дм ³)	<0,015	0,015-0,030	0,031-0,050	0,051-0,100	0,101-0,200
Завислі речовини (TSS, мг/дм ³)	<5	5-10	11-20	21-30	31-50
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти (забрудненості)	Дуже чисті	Чисті		Забруднені	
	Дуже чисті	Чисті	Досить чисті	Слабко забруднені	Помірно забруднені
Трофність (переважаючий тип)	Оліготрофні	Мезотрофні		Евтрофні	
	Каламутність (Turbidity, NTU)				
Permissible turbidity	Low turbid	Fairly turbid	Rather turbid	Turbid	Very turbid
	< 5	5-15	15-25	25-35	35-50
					> 50

певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги. До III класу належать води, які перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем. Води IV–V класів – це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як екологічний регрес [21].

Гранично-допустимі концентрації речовин у акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи визначалися за найбільш жорсткими значеннями діючих в Україні та Європейському Союзі нормативами якості води поверхневих водних об'єктів для питних потреб, культурно-побутового та рекреаційного, рибогосподарського призначення [22].

Переміщення концентрацій полутантів у акваторії Чорного моря після руйнації дамби Каховської ГЕС розраховано на основі Maximum Chlorophyll Index (MSI) [23]:

$$MCI = B11 - \left[B10 + (B12 - B10) \times \frac{709 - 681}{754 - 681} \right], \quad (5)$$

де B10, B11 і B12 – смуги відбиття, а $\lambda B10 = 681$ нм, $\lambda B11 = 709$ нм і $\lambda B12 = 754$ нм – центральні довжини хвилі відповідних смуг Sentinel-3 OLCI L1B.

Побудова графіків та крос-кореляційний аналіз здійснено у MS Excel 2016. Обробку зображень, картографування та просторово-часовий аналіз проводили за допомогою ArcGis 10.6.

Результати досліджень. Формування якості води у 2018–2021 році.

Важливими індикаторам стану якості поверхневих вод є їх гідробіологічний та фізико-хімічний стан, зміна яких відбувається в результаті впливу багатьох факторів. Серед них слід визначити: рівень води і швидкість стоку у річці, природно-кліматичні умови, інтенсивність господарської діяльності людини, вплив воєнних дій тощо. Використання біологічних і фізико-хімічних методів передбачає визначення абіотичних чинників: активність розвитку водоростей та інтенсивність накопичення хлорофілу, температури, прозорості і каламутності води, концентрації завислих речовин, іонного складу, мінералізації, концентрації біогенних елементів, органічної речовини, розчиненого у воді кисню, різноманітних токсинів, водневого показника (*pH*) тощо.

У довоєнний період, якість поверхневих вод Дніпровсько-Бузької естуарної системи формувалася впливом господарської діяльності та кліматичних умов. Забруднюючі речовини систематично переміщувалися до пониззя річки та лиману водами середньої і нижньої течії Дніпра. Це зумовлювало акумуляцію і перевищення значень ГДК речовин-полутантів. Однією із основних проблем погіршення якості води р. Дніпро стала будова водоохоронних санітарних зон. Також слід відзначити, що ці зони басейну Дніпра також широко використовувалися у сільському господар-

стві. Дифузне забруднення природних джерел поверхнево-ерозійними стоками та каналізаційним водами у теплі і жаркі періоди були причиною масового цвітіння водоростей, викликало інтенсивну евтрофікацію, зниження вмісту кисню у воді, значного погіршення фізико-хімічного та трофічного стану акваторії, збільшення випадків масового замору риби.

У сезон весняної повені дніпровська вода характеризується перевищенням нормативів якості води за вмістом органічних сполук, марганцю, показниками кольору та мутності, хімічного та біологічного споживання кисню, що викликає додаткові надходження речовин у верхній і середній течії притоками Дніпра, які протікають болотистими місцевостями (р. Прип'ять, Тетерів, Ірпінь) і живляться водами, багатими на органіку (р. Десна), марганець та інші сполуки. Додаткове негативне навантаження на гідромережу Дніпра здійснюють «гарячі» точки, або локальні джерела забруднення, серед яких лідируюче місце займають скиди очисних споруд великих міст. За останнє десятиліття вміст біогенних речовин у стоках, що потрапляють на очисні споруди, підвищився у десятки разів.

Окрім зміни фізико-хімічного режиму, у р. Дніпро відбувається мікробіологічне та вірусне забруднення поверхневих вод, про що свідчило щорічне закриття пляжів у літній сезон. Ще одна причина погіршення якості води – абразія берегів, яка відбувається в результаті антропогенного впливу та під впливом природних факторів. Більшість дніпровських берегів руйнуються через незаконні забудови водоохоронної санітарної зони. Великою проблемою залишається погіршення гідрологічного режиму Дніпра в результаті створення шести водосховищ, що не дозволяє річці існувати повноцінно, відповідно природних умов.

Антропогенне порушення природного стану водозбору та перетворення руслової системи річки Дніпро обумовило поділ гідрологічного ряду на три періоди: I період (1818–1935 рр.) – формування природних умов стоку до створення каскаду дніпровських водосховищ; II період (1936–1977 рр.) – період створення каскаду водосховищ, антропогенної трансформації стоку та становлення нових гідрологічних умов; III період (1978–2022 рр.) – функціонування каскаду водосховищ, антропогенно-кліматично обумовлене формування стоку та стабілізація нових гідрологічних умов. Після знищення дамби Каховського водосховища (06/06/2023 р.) спостерігається початок четвертий період поділу гідрологічного ряду [2, 3, 24].

У I період формування водного режиму в нижній течії річки Дніпро середньорічне значення стоку склало 1704 м³/с, у II період – 1530 м³/с, у III період – 1344 м³/с. Зниження стоку у III періоді обумовлювалося зменшенням суми атмосферних опадів на 40 %, підвищенням середньорічної температури у цей період на 2,5 °С, пришвидшенням евапотранспірації на 20 %. Для забезпечення належного рівня водообміну та екологічно ста-

більшого стоку у пониззі Дніпра, необхідно було забезпечити попуски з Каховського водосховища у літньо-осінній період на рівні 1350 м³/с у імпульсному режимі двічі на добу. Але сезонне значення стоку в останні роки сягало лише 340 до 640 м³/с (лише 25,2–47,4 % від необхідного екологічного стоку), що негативно вплинуло на водний баланс, стало причиною критичного зниження енергії гідрологічного функціонування пониззя Дніпра [2, 3, 24]. Загострення цих проблем відбувалося в умовах підсилення антропогенного тиску на екосистему басейна р. Дніпро, що впливало на стан акваторії Дніпровсько-Бузькому лиману.

За результатами дешифрування супутникових знімків Sentinel 2 L2A (рисунок 3) встановлено закономірності просторового формування якості поверхневих вод Дніпровсько-Бузької естуарної системи за липень-жовтень 2021 р. Визначено, що на ділянці від Каховського водосховища до

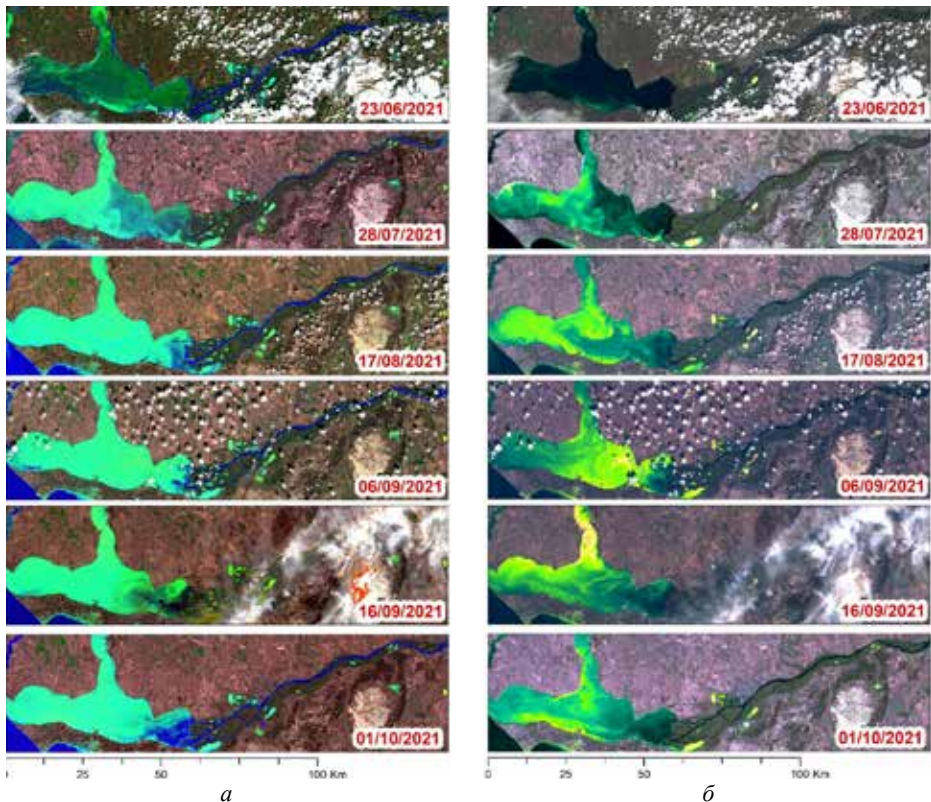


Рис. 3. Стан якості води за гідробіологічними та фізико-хімічними показниками у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі, 2021 рік:

а – щільність водоростей та каламутність води, б – інтенсивність цвітіння водоростей та концентрація зважених речовин

протоки лиману, якість води має значну диференціацію відповідно до різних потреб. Це зумовлено посиленням антропогенним навантаженням, що стало причиною зміни природного стану, викликало дисбаланс цілісності, посилює деструкцію процесу саморегуляції, самоочищення та самовідновлення естуарної системи.

Води дельтової системи Дніпра характеризувалися середнім і низьким рівнем проточності та застою води у заплавах озер, що значно погіршило її властивості. Каламутність є індикатором мікробіологічного забруднення води. Значення каламутності (Turbidity, Turb) поверхневих вод становило 1,29–1,86 ГДК, що засвідчує наявність у водних джерелах зважених тонкодисперсних органічних і неорганічних домішок, утворення мулу фіто- і зоопланктоном, що надає воді жовто-зеленого кольору, неприємного запаху. У дельтовій системі річки фіксується висока щільність заростання акваторій заплавах озер водоростями, інтенсивне їх цвітіння, значний рівень каламутності і акумуляції зважених речовин.

Середнє значення каламутності поверхневих вод у заплавах озер впродовж липня-жовтня 2021 року варіювало від 13,5 до 26,9 NTU–3,75–7,39 ГДК, максимальне значення становило 52,5–74,1 NTU–14,58–20,58 ГДК. Концентрація завислих речовин (Total Suspended Solids, TSS) змінювалася від 46,2 до 92,0 мг/дм³ – 1,85–3,68 ГДК, максимальні значення варіювали у межах 180,0–253,5 мг/дм³ – 7,20–10,14 ГДК. В свою чергу, спостерігалось значний рівень акумуляції фосфатів (PO₄³⁻), у межах 0,12–0,19 мгР/дм³ – 0,60–0,95 ГДК, із критичним підвищенням їх концентрації на рівні 0,38–0,45 мг/дм³ – 1,90–2,25 ГДК. Високий рівень вмісту фосфатів є причиною високої щільності заростання та інтенсивного розвитку водоростей у акваторіях заплавах озер. Заростання озер ціанобактеріями формує щільний шар органічної речовини, що виступає перешкодою для сонячного світла у водну товщу, є причиною підвищення різкого споживання розчиненого кисню у процесі деструкції та виділення токсичних речовин, виникає кисневий дефіцит у воді, з подальшим мором риби та деградацією середовища існування гідробіонтів. У результаті відмирання водоростей відбувається накопичення відмерлої органічної речовини у донних відкладах, спостерігається замулення водойм, додаткова акумуляція органічної речовини, сірки, відбувається формування анаеробного шару.

Важливим біологічним параметром, з точки зору моніторингу якості води та управління водними ресурсами, є концентрація хлорофілу (Chl-a,) яка є індикатором наявності водоростей, активності їх фотосинтезу та формування величини біомаси у водному середовищі. Оскільки ріст водоростей часто обмежується наявністю поживних речовин, високі концентрації хлорофілу часто є результатом забруднення поверхневих вод комунальними та господарсько-ерозійними стоками,

абразією берегів. Середнє значення вміст Chl-a у водоростях впродовж липня-жовтня 2021 року становило 40,9–67,8 мкг/дм³, із осередками максимальної її концентрації на рівні 143,7–192,0 мкг/дм³. Це характеризувало критично високу евтрофікацію водойм на рівні політрофного і гіпертрофного стану.

Відповідно до гідробіологічного стану та рівня фізико-хімічних показників поверхневі води акваторії Дніпровсько-Бузького лиману у липні-жовтні характеризувалися евтрофним і політрофним станом. По всій площі акваторії лиману було зафіксовано мозаїчно-неоднорідні процеси систематичної акумуляції і значне перевищення полютантів у воді. Збільшення обсягу полютантів спостерігалось у напрямку переміщення водних мас від Західного до Східного району лиману і виносу до Чорного моря. Значна частина речовин акумулювалася у прибережних мілководдях. Пік акумуляції полютантів та формування значної біомаси фітопланктону із високою концентрацією Chl-a було зафіксовано на початку вересня 2021 року (супутниковий знімок від 06/09/2021 р.). Концентрація Chl-a у Західному районі лиману варіювала у межах 2,5–140,4 мкг/дм³, середнє значення складало 65,9 мкг/дм³. У Центральному районі лиману біомаса водоростей мала вміст Chl-a – 82,1 мкг/дм³, із варіацією від 51,6 до 110,9 мкг/дм³. У свою чергу, середнє значення Chl-a у Західному районі склало 58,7 мкг/дм³, із варіацією у межах 36,6–79,8 мкг/дм³. Мінімальнє значення Chl-a фіксувалося на початку листопаду – цей період характеризується зниженням температури прогріву водних мас, завершенням активної вегетації водоростей, відмиранням водоростей та зменшенням щільності ціанобактерій на поверхні акваторії лиману. У цей період (станом на 10/11/2021р) концентрація Chl-a у акваторії Дніпровсько-Бузького лиману варіювала від 12,8 до 36,4 мкг/дм³.

Щільність розвитку водоростей і концентрація Chl-a залежить від наявності PO₄³⁻ у воді. Значення PO₄³⁻ синхронно змінювалося відповідно концентрації Chl-a, зокрема, його вміст станом на 06/09/2021 рік у Східному районі лиману склав 0,18 мгР/дм³ (0,90 ГДК), із варіацією від 0,03 до 0,35 мгР/дм³ – 0,15–1,75 ГДК. У Центральному районі акумуляція PO₄³⁻ дорівнювала 0,22 мгР/дм³ (1,1 ГДК), у межах 0,16–0,28 мгР/дм³ – 0,80–1,4 ГДК. Відповідно у Західному районі акваторії концентрація PO₄³⁻ становила 0,17 мгР/дм³ (0,85 ГДК), у межах 0,14–0,22 мгР/дм³ – 0,70–1,1 мгР/дм³. Станом на 10/11/2021 р. концентрація PO₄³⁻ у водах лиману варіювала від 0,09 до 0,15 мгР/дм³ – 0,45–0,75 ГДК.

Максимальна каламутність (Turb) і концентрація завислих речовин (TSS) спостерігалася у липні-вересні 2021 року. У теплий період значення Turb варіювало у межах 1,2–40,0 NTU – 0,34–11,43 ГДК. В свою чергу, концентрація TSS змінювалася від 4,1 до 136,9 мг/дм³ – 0,16–5,48 ГДК.

Отримані результати якості води у 2021 р. відображають фоновий рівень концентрації речовин за гідробіологічними та фізико-хімічними показниками у акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи у довоєнний період. Рівень акумуляції речовин залежав від господарської діяльності та кліматичних умов. Тому, величина їх концентрації у 2021 р. використано як фонове значення у дослідженнях впливу воєнних дій на водні об'єкти, зміни у якості поверхневих вод та порушення екологічної рівноваги функціонування Дніпровсько-Бузької естуарної системи у період 2022–2023 рр.

Формування якості води у 2022 році. З початком воєнного вторгнення російського агресора 24.02.2022 року та тимчасової окупації Херсонської області, пониззя річки Дніпро активно використовувалося для воєнної логістики окупаційних військ, переміщення техніки та озброєння. У цей час спостерігалася активна воєнна логістика, захоплення гідротехнічних споруд, несанкціоновані спуски вод з Каховського водосховища, неправомірний водозабір та перекид великих об'ємів поверхневих вод до тимчасово окупованого лівобережжя Херсонської і Запорізької областей з подальшим перенаправленням до Автономної Республіки Крим. Ці дії стали причиною порушення гідрологічного та біолого-гідрохімічного режиму Нижнього Дніпра, від нижнього б'єфу до гирла річки та Дніпровсько-Бузького лиману. За даними Державної екологічної інспекції України неправомірний забір поверхневих вод з Каховського водосховища через гідротехнічну систему Каховського і Північно-Кримського магістральних каналів сягнув 50 м³/с, що оцінюється втратами у обсязі 860,0 тис. дол. США на добу. Зокрема, додаткові періодичні скиди води у пониззя Дніпра 2022–2023 рр. (рисунк 4) були причиною значних коливань рівня води у Каховському водосховищі.

Від початку воєнних дій до деокупації міста Херсон (24/02–11/10/2022 р.) фіксувалися періоди несанкціонованого скиду води з Каховського водосховища: з 01/04 по 25/06/2022 року. Наслідками стало

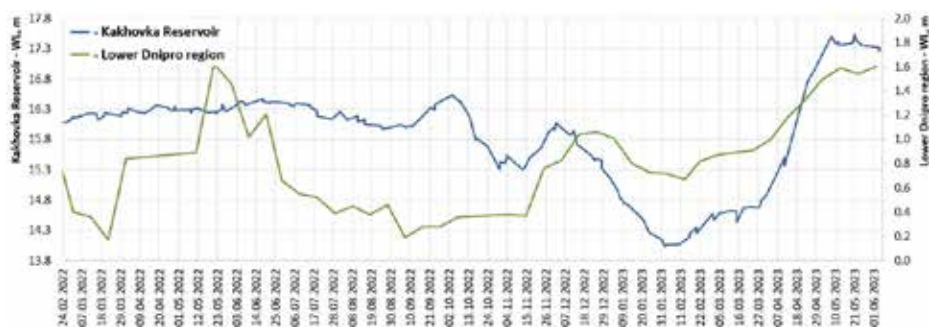


Рис. 4. Динаміка рівня води (WL) у акваторії Нижнього Дніпра у період від початку війни 24.02.2022 р. до руйнації дамби Каховської ГЕС 06.06.2023 р.

циклічне підвищення рівня води, імпульсні промивки пониззя Дніпра і Дніпровсько-Бузького лиману. Рівень води у пониззі річки Дніпро сягав 1,46–1,62 м, за нормативних показників WL у 2018–2021 рр. на рівні 0,57 м. Попуски води знижували сезонно-фонові концентрації поллютантів у акваторіях річки і лиману, зокрема, вмісту PO_4^{3-} – 0.10 ± 0.01 мгР/дм³, Chl-a – 27.0 ± 5.0 мкг/дм³, Turb – 11.0 ± 9.5 NTU, TSS – 37.5 ± 32.6 мг/дм³ (рисунок 5).

З липня по другу декаду вересня 2022 року було фіксовано синхронне зниження рівня води у Каховському водосховищі і пониззі Дніпра. Це було зумовлено блокуванням скидів води до пониззя річки і зниженням рівня води у руслі з 1,21 до 0,19 м, що стало наслідком неправомірного перенаправлення води магістральними каналами до лівобережної частини Херсонської області та Автономної Республіки Крим. Тому зменшення швид-

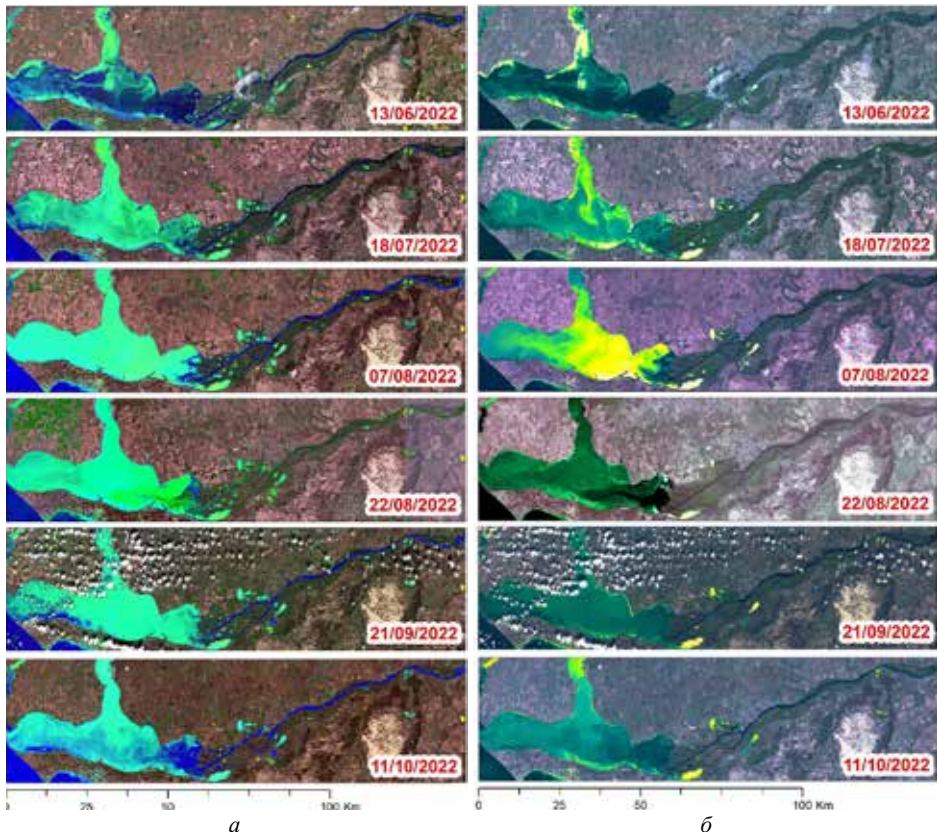


Рис. 5. Стан якості води за гідробіологічними та фізико-хімічними показниками у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі, 2022 рік:

а – щільність водоростей та каламутність води, б – інтенсивність цвітіння водоростей та концентрація зважених речовин

кості течії і застій поверхневих вод спричинило значне підвищення рівня полютантів у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі у теплий період. Спостерігалася висока концентрація PO_4^{3-} у дельті річки від 0,18 до 0,22 мгР/дм³ із рекордним збільшенням PO_4^{3-} у заплавних озерах до 0,44–0,45 мгР/дм³ – 2,20–2,25 ГДК. Середнє значення акумуляції PO_4^{3-} у різних частинах акваторії лиману варіювало від 0,16 до 0,25 мгР/дм³ із осередками максимальної концентрації PO_4^{3-} в межах 0,33–0,37 мгР/дм³ – 1,65–1,85 ГДК. Це зумовило прискорений ріст ціанобактерій, збільшення їх біомаси та підвищення вмісту Chl-a у водах дельти Дніпра від 65,6 до 83,5 мкг/дм³ із осередками максимальної концентрації на рівні 215,0–222,0 мкг/дм³. Вміст Chl-a у акваторії Дніпровсько-Бузького лиману змінювався від 49,1 до 99,2 мкг/дм³, максимальна концентрація становила 144,0–168,0 мкг/дм³.

За фізико-хімічними показниками Turb і TSS екологічна ситуація у акваторіях була значно гіршою, що пов'язано з воєнною водно-логістичною активністю окупаційних військ в результаті якої відбувалася руйнація берегової лінії, дифузне забруднення водних джерел на ділянці III акваторії річки Дніпро (від Антонівського залізничного мосту до початку дельтової системи). На цій ділянці значення Turb у липині-серпні варіювало від 15,0–18,0 NTU до 71,7–86,3 NTU – 4,3–24,7 ГДК. Концентрація TSS змінювалася від 51,3–61,6 мг/дм³ до 243,3–295,3 мг/дм³ – 2,05–11,81 ГДК. Перенос течією полютантів та підвищення їх концентрації спостерігалися у дельті Дніпра, Західному і Центральному районі лиману.

З 11/09/2022 по 04/10/2022 р. відбулося накопичення води у водосховищі з 16,0 до 16,5 м із невеликими попусками до пониззя Дніпра. Це призвело до незначного збільшення течії та перенесення забруднюючих речовин до акваторії лиману. Але цих об'ємів води не вистачило для промивки руслової та дельтової системи річки Дніпро. Концентрація забруднюючих речовин залишалася вищою відносно їх фонового рівня 2021 року.

Під час відступу та передислокації окупаційних військ з правобережжя Херсонської області та на лівий берег Дніпра, з 04/10 до 30/10/2022 р., ворогом було здійснено значне розвантаження води акваторії до магістральних каналів лівобережжя та підтримувався необхідний рівень води у пониззі річки. Рівень води у водосховищі стрімко знизився з 16,51 до 15,30 м, а об'єм перекиду води склав більше 2,6 км³.

Активна воєнна логістика ворога та неправомірний водозабір значних об'ємів вод магістральними каналами, значно вплинули на гідрологічний режим річки, що погіршило біологічні і фізико-хімічні властивості води пониззя Дніпра. Після звільнення українським військами правобережжя Херсонщини, яке відбулося 11.10.2022 року, окупаційні війська залишили під своїм контролем дамбу Каховської гідроелектростанції та здійснювали подальше несанкціоноване накопичення, забір та попуски води із водосхо-

вища. Ці процеси здійснювалися з метою контролю гідрологічного режиму в частині пришвидшення течії у пониззі Дніпра для перешкоджання просуванню військ Збройних сил України на лівобережжя. Зокрема, у період 31/10–04/11/2022 р. агресором було здійснено незначне накопичення води у водосховищі із подальшим її скидом у період 05/11–13/11/2022 р. Це зумовило підняття рівня води у пониззі річки, привело до збільшення дзеркала акваторії і стало причиною пришвидшення течії для ускладнення форсування річки українськими військами. Процес регулярного скиду води спостерігався до кінця 2022 року. Із середини листопада до другої декади грудня 2022 року ворогом було накопичено воду у водосховищі, значні її об'єми було переправлено магістральними каналами до тимчасово окупованих територій. У період розвантаження гідротехнічною мережею поверхневих вод, зафіксовано рекордне зниження рівня води у Каховському водосховищі з 16,07 до 14,03 м та втрати більше 4,5 км³. Критичний мінімум рівня води було зафіксовано 02/02/2023 р. У період зимової акумуляції води та весняної повені російським агресором цілеспрямовано було здійснено рекордне підвищення рівня води у водосховищі на рівні 17,50 м, що перевищило середньо-багаторічну норму на 1,5 метри та збільшило норму об'єму води у водосховищі з 18,2 до 21,5 км³. Це засвідчує про чітке планування, розробку та реалізацію заходів по навмисному вчиненні техногенної катастрофи 06/06/2023 року. О 2:50 злочинними військовими формуваннями РФ було підірвано дамбу Каховської гідроелектростанції.

Формування якості води у 2023 році. Знищення дамби призвело до катастрофічних екологічних та соціально-економічних наслідків. На момент знищення дамби рівень води у водосховищі складав 17,26 м, це близько 20,93 км³ води. Станом на 8:00 9 червня рівень води у водосховищі знизився на відмітку 11,74 м, втрати води склали близько 12,0 км³. Станом на 12:00 11 червня рівень води становив 9,17 м, втрати склали 17,53 км³ або 83,76 % води. Площа затоплення територій у пониззі Дніпра становила 600 км², підняття води на різних прируслових ділянках річки зафіксований на рівні 5,61–6,81 м. Катастрофа призвела до загибелі людей, гідробіонтів, наземної флори і фауни, абразії берегів, знищення основного прісного джерела зрошення сільськогосподарських земель площею більше 800 тис. га, погіршення стану водозабезпечення населених пунктів та інших негативних наслідків. До зони надзвичайної ситуації потрапили 180 населених пунктів, у яких проживало понад 900 тис. людей. В результаті поверхневих водно-ерозійних змивів, абразії берегів відбулося дифузне забруднення пониззя Дніпра та переміщення водними потоками великих об'ємів поллютантів до Дніпровсько-Бузького лиману та Чорного моря. За результатами дешифрування супутникових знімків Sentinel-2 L2A, станом на 08/06/2023 року, у водних масах дельти Дніпра

і лиману фіксувалися високі концентрації біологічних та фізико-хімічних речовин, які значно перевищували їх фонові значення. Максимальний вміст PO_4^{3-} сягав $0,214\text{--}0,232$ мгР/дм³ і більше, що перевищувало його фонове значення в 1,4–3,1 рази. Спостерігалось збільшення концентрації Chl-a, значення сягало рівня $77,5\text{--}86,85$ мкг/дм³ і більше, що відповідало політрофному стану переміщених водних мас. Каламутність води складала $33,9\text{--}50,7$ NTU, що перевищувало фонове значення у 3,5–8,7 рази. Максимальна концентрація TSS варіювала від 116,0 до 173,5 мг/дм³, що відповідало 4,64–6,94 ГДК і більше. Акумуляція і перенос хлоридів (Cl^-) спостерігався на рівні $3500\text{--}4200$ мг/дм³ – 17,5–21,0 ГДК, сульфатів (SO_4^{2-}) у межах $1420\text{--}1700$ мг/дм³ – 14,2–17,0 ГДК, сухий залишок (DR) склав $8000\text{--}8700$ мг/дм³ – 8,0–8,7 ГДК і більше. Різке підвищення біохімічного споживання кисню за 5 діб (BOD_5) до $90,0\text{--}103,5$ мгО₂/дм³ – 45,0–51,8 ГДК і збільшення концентрації хімічного споживання кисню (COD) до $370,0\text{--}425,6$ мгО₂/дм³ – 18,5–21,3 ГДК зумовили різкий дефіцит кисню, що очевидно призвело до загибелі великої кількості гідробіонтів.

У результаті розрахунку Maximum Chlorophyll Index (MSI) у відповідності до даних супутникових знімків Sentinel-3 OLCI L1B встановлено, що до 26 червня 2023 року (рисунок 6) забруднені прісноводні стоки були переміщені у акваторію Чорного моря нижче гирла р. Дністер, площа забруднення водних ресурсів сягала близько 6800 км². В цей час [7] у прибережній морській акваторії міста Одеси було зафіксовано зниження солоності морських вод у 2,62 рази (з 11,0 г/дм³ до 4,2 г/дм³), підвищення концентрації біогенних речовин, вмісту фітопланктону, перевищення грачиної допустимої концентрації (ГДК): міді у 895 рази (ГДК = 0,02 мкгCu/дм³), цинку у 44,8 рази (ГДК = 1,0 мкгZn/дм³), миш'яку у 3,02 рази (ГДК = 0,6 мкгAs/дм³), нафтопродуктів у 2,0 рази (ГДК = 0,05 мкг/дм³).

У відповідності до проведених нами розрахунків встановлено, що максимальне значення MSI у акваторії Чорного моря склало 0,030. Це відповідало концентрації Chl-a близько 91,0 мкг/дм³, PO_4^{3-} – 0,24 мгР/дм³ (1,2 ГДК), Turb – 26,0 NTU (7,4 ГДК), TSS – 83,4 мг/дм³ (3,3 ГДК), DR – 9220 мг/дм³ (9,2 ГДК), Cl^- – 4260 мг/дм³ (14,2 ГДК), SO_4^{2-} – 1770 мг/дм³ (17,7 ГДК), BOD_5 – 110 мгО₂/дм³ (55,0 ГДК), COD – 451 мгО₂/дм³ (22,6 ГДК). Значення ГДК речовин розраховано для рибогосподарських потреб. Максимальне значення концентрацій поллютантів прийнято за 100 % і на основі співвідношення розраховано площі акваторій із різним рівнем забруднення морських вод. Диференціація концентрації поллютантів розрахована відносно частки загальної площі забруднення акваторії Чорного моря – 6800 км², у тому числі: 29,3 % акваторії характеризувалася 0–10 % концентрації поллютантів; 31,8 % площі водного дзеркала акумулювали 20–30 % забруднюючих речовин; 22,9 % акваторії мали значний рівень концентрації

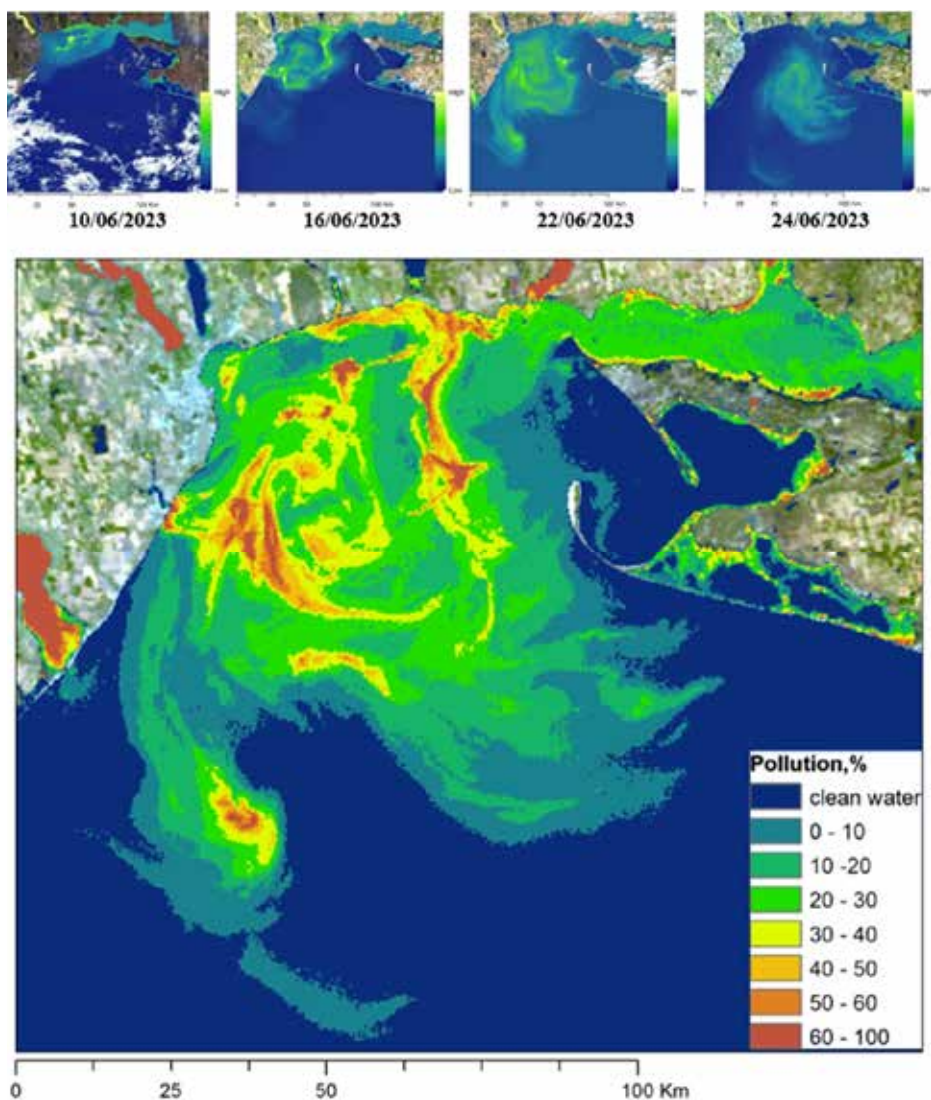


Рис. 6. Розповсюдження забруднених прісноводних мас у акваторії Чорного моря, період з 10.06 по 26.06.2023 р.

30–40 % поліюантів; 16,0 % території мали високий рівень концентрації >40 % забруднюючих речовин. Така ситуація призвела до різкого погіршення умов існування морських гідробіонтів. Було зафіксовано 150 офіційних випадків мору дельфінів у акваторії Чорного моря.

Знищення дамби гідроелектростанції та осушення Каховського водосховища призвело до втрат важливого для Півдня України осередку

штучної акумуляції прісних вод площею 2155 км². Це обумовило збільшення на 230 км довжини необхідної промивки русла Дніпра у нижні течії, що потребує збільшення об'ємів і частоти пікових скидів води із Дніпровського водосховища, як знаходиться вище осушеного Каховського водосховища і має площу акваторії 410 км². Максимальні сезонні коливання рівня води у пониззі Дніпра відносно значень 2018–2021 років зменшилися у 1,42–1,82 рази. Відсутність необхідних екологічно мінімальних скидів призвела до погіршення водного балансу, зарегулювання та формування застійних зон у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі. Це стало причиною різкого погіршення гідробіологічних та фізико-хімічних властивостей поверхневих вод (рисунок 7, 8).

Згідно з даними Держаної екологічної інспекції Південного округу України, встановлено закономірності зміни розчиненого у воді кисню (DO, мгО₂/дм³) у період 08.06–15.11.2023 року (рисунок 9) у пониззі Дніпра (проби № 2–4) і правій її притоці р. Інгулець (проба № 1).

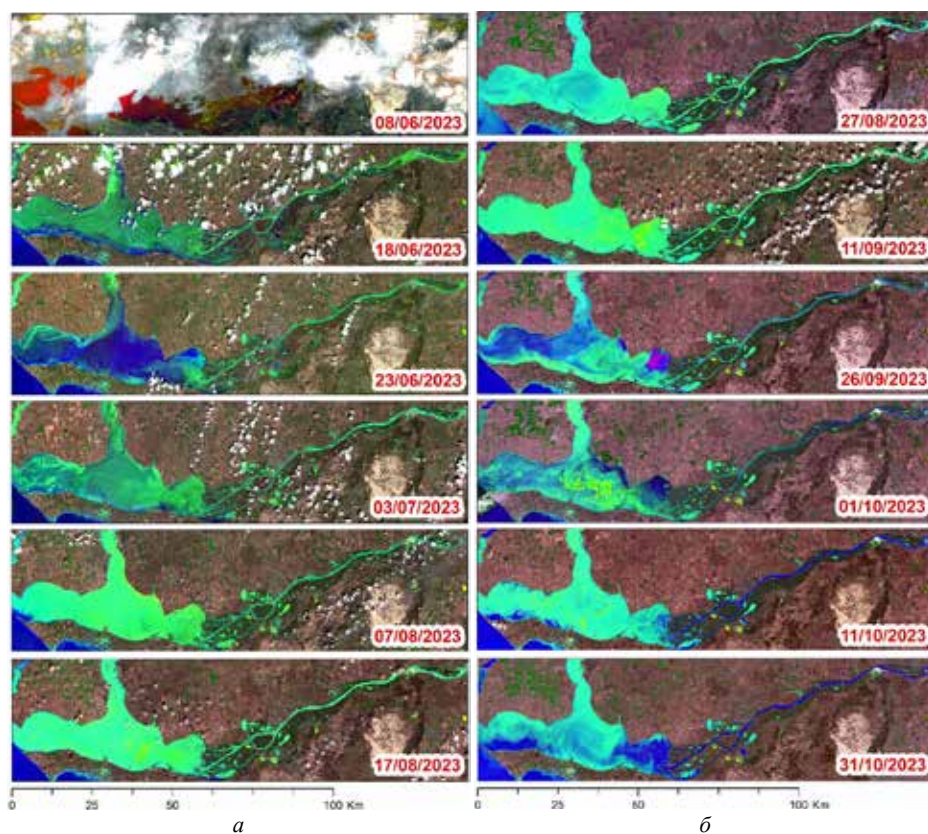


Рис. 7. Щільність розподілу водоростей та каламутність води в акваторії Дніпровсько-Бузької естуарній системи, 2023 рік

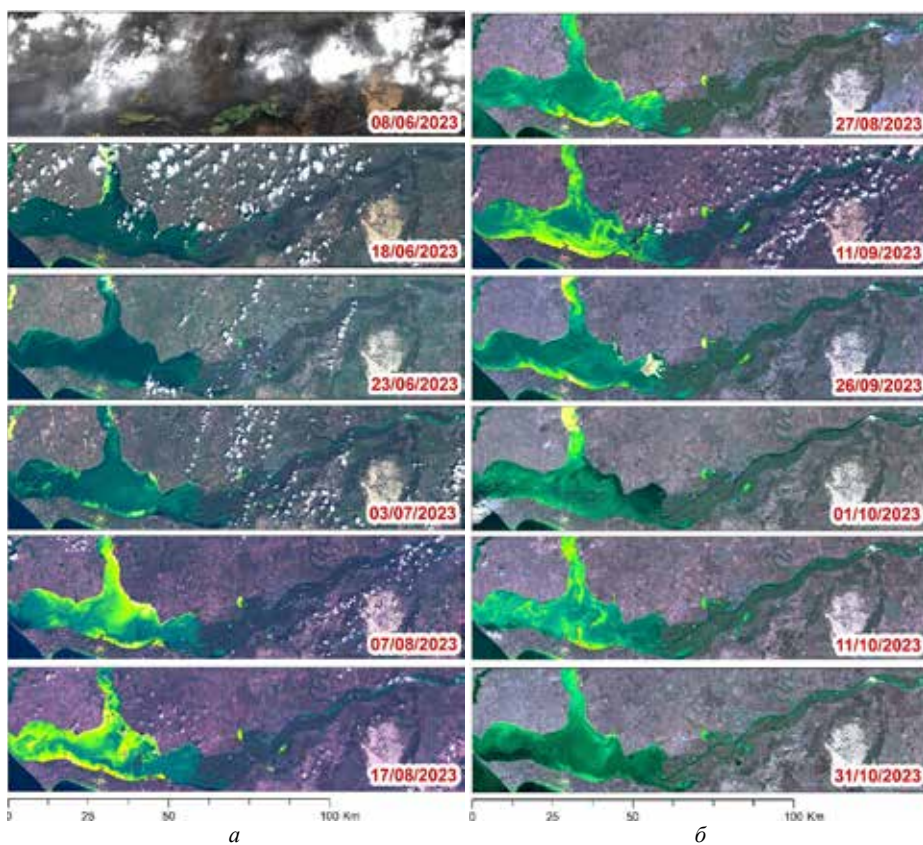


Рис. 8. Інтенсивність цвітіння водоростей та концентрація зважених речовин у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі, 2023 рік

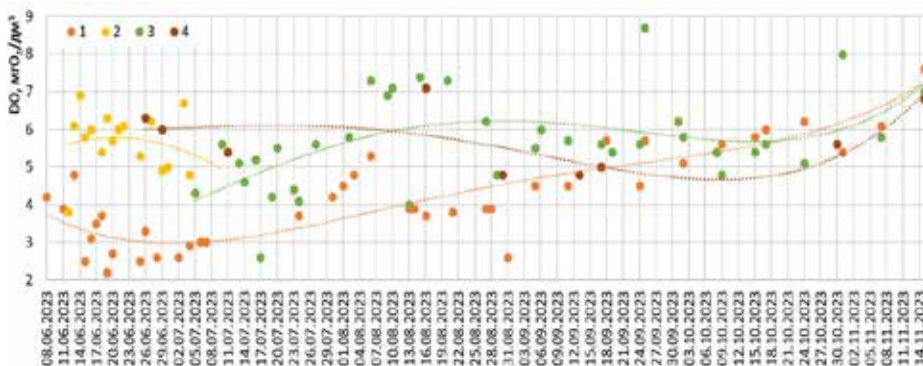


Рис. 9. Зміни вмісту розчинного кисню у воді пониззя Дніпра і р. Інгулець

У перші дні знищення дамби Каховської гідроелектростанції відбулося перенесення забруднених водних мас, що викликало затоплення прибережних територій і характеризувалося різким зниженням розчиненого кисню. Для рибогосподарських потреб значення концентрації DO в період 08–15/06 сягало критичного рівня у р. Інгулець (проба № 1) – 4,8→2,5 мгО₂/дм³ (0,80→0,42 ГДК). У пониззі Дніпра, у межах Антонівського залізничного мосту (проба № 2), значення DO знизилося з 6,9 до 5,8 мгО₂/дм³ (1,15→0,97 ГДК). У період поступового відходу води 15–25/06 у акваторії річки Інгулець вміст DO варіював в межах 3,7→2,2 мгО₂/дм³ (0,62→0,37 ГДК), у річці Дніпро – від 6,3 до 5,3 мгО₂/дм³ (1,05→0,88 ГДК). Станом на 18 червня 2023 року спостерігалось збереження рекордно високого рівня концентрації політантів у водах пониззя Дніпра. На ділянках акваторії I-III, у напрямку від дамби до гирла річки, значення Chl-a варіювали від 53,3–128,0 мкг/дм³ до 42,0–77,60 мкг/дм³; PO₄³⁻ – від 0,20–0,34 мгP/дм³ (1,0–1,7 ГДК) до 0,16–0,25 мгP/дм³ (0,80–1,25 ГДК); Turb – від 22,1–54,0; NTU (6,3–15,4 ГДК) до 16,5–28,3 NTU (4,7–8,1 ГДК); TSS – від 75,6–184,8 мг/дм³ (3,0–7,4 ГДК) до 56,5–96,8 мг/дм³ (2,3–3,9 ГДК). З кінця червня до початку липня 2023 року у пониззі Дніпра відбулося зниження концентрації забруднюючих речовин у окремих руслових ділянках у 1,4–3,1 рази. Це зумовлено перенесенням та акумуляцією політантів у Дніпровсько-Бузький лиман та Чорне море.

Після відходу води, до початку серпня 2023 року спостерігалось збереження низької концентрації розчиненого кисню із поступовим його збільшенням, у річці Інгулець з 2,5 до 5,3 мгО₂/дм³ (0,42→0,88 ГДК), у річці Дніпро, у межах м. Херсон (проба № 3) – 4,3→5,8 (0,72→0,97 ГДК), у межах дельти річки (проба № 4) – 5,3→6,0 (0,88→1,0 ГДК). Значення Chl-a змінювалися у межах – 46,6–67,2 мкг/дм³; PO₄³⁻ – 0,15–0,19 мгP/дм³ (0,75–0,95 ГДК); Turb – 10,5–17,3 NTU (3,0–4,9 ГДК); TSS – 35,9–59,2 мг/дм³ (1,44–2,37 ГДК). У водах Дніпровсько-Бузького лиману відносно фонових значень 2021 року, спостерігались невисокі значення акумуляції забруднюючих речовин, зокрема: Chl-a – 27,8–69,8 мкг/дм³; PO₄³⁻ – 0,10–0,20 мгP/дм³ (0,50–1,0 ГДК); Turb – 3,5–18,6 NTU (1,0–5,3 ГДК); TSS – 12,0–63,6 мг/дм³ (0,48–2,54 ГДК).

Сезонно-максимальний рівень концентрації DO у пробах 3 і 4 фіксувався у період 05–25 серпня – у межах 6,9→7,3 мгО₂/дм³ (1,15→1,22 ГДК). Це було зумовлено надходженням атмосферних опадів та незначною промивкою акваторії пониззя Дніпра. Зокрема, у нижній частині русла р. Інгулець спостерігався зворотній процес зниження вмісту DO – 5,3→3,73 мгО₂/дм³ (0,88→0,62 ГДК), що було спричинено акумуляцією органічних речовин та сезонною активністю цвітіння ціанобактерій. В цей період фіксувалося збереження значних концентрацій політантів на рівні 1,1–5,5 ГДК у

поверхневих водах русла та дельти Дніпра, подальше їх винесення течією річки до акваторії лиману та акумуляції на рівні 1,9–9,7 ГДК.

Високий рівень температури повітря, зарегулювання стоку, систематична акумуляція забруднюючих речовин, посилений розвиток фітопланктону стали причиною евтрофікації та негативних екологічних умов пониззя річки до третьої декади вересня. За це період у 80% проб води спостерігався дефіцит розчиненого кисню на рівні 0,97→0,80 ГДК. Зокрема, у водах русла річки Дніпро на I і II ділянках акваторії фіксувалися нетипово висока концентрація забруднюючих речовин на рівні політрофного стану: Chl-a – 54,9–78,7 мкг/дм³; PO₄³⁻ – 0,17–0,22 мгP/дм³ (0,85–1.10 ГДК); Turb – 14,6–25,5 NTU (4,17–7,30 ГДК); TSS – 50,0–87,3 мг/дм³ (2,00–3,50 ГДК). Максимальний вміст забруднюючих речовин у водах лиману у напрямку «східний→центральний→західний» райони акваторії змінювався на рівні «4,3–9,0 ГДК→3,0–6,4 ГДК→2,2–4,6 ГДК».

Станом на 25 вересня спостерігалось пікове підвищення концентрації DO до 8,7 мгO₂/дм³ або 1,45 ГДК. Причиною були скиди води із Дніпровського водосховища та потужна промивка руслової системи пониззя річки Дніпро. За результатами дешифрування супутникового знімку станом на 26 вересня 2023 року спостерігався значний викид забруднюючих речовин до акваторії Східного району лиману на рівні 5,0–10,4 ГДК і більше. У цей період концентрація забруднюючих речовин у водах русла Дніпра знизилася на 40–47 %.

Сезонне осіннє зниження приземних температур та зменшення інтенсивності прогріву води з другої декади жовтня зумовили поступове пригнічення та зупинку на початок листопада негативних гідробіологічних і фізико-хімічних процесів у водах, що вплинуло на підвищення концентрації розчиненого кисню у всіх пробах води – до 6,8→7,6 мгO₂/дм³ (1,13→1,27 ГДК). З 11 по 31 жовтня 2023 року концентрація забруднюючих речовин у пониззі Дніпра знизилась. На I і II ділянках акваторій вміст речовин фіксувався на рівні: Chl-a – 25,2–34,8 мкг/дм³; PO₄³⁻ – 0,10–0,12 мгP/дм³ (0,50–0,60 ГДК); Turb – 3,3–14,1 NTU (0,94–4,04 ГДК); TSS – 11,3–48,3 мг/дм³ (0,45–1,93 ГДК). У водах дельтової системи річки (ділянка III) спостерігалось зниження концентрації політантів у 2,2–2,4 рази. Подібне сезонне зниження рівня політантів фіксувалося у акваторії Дніпровсько-Бузького лиману, зокрема у Східному регіоні (ділянка IV) – у 2,0–2,7 рази, Центральному (ділянка V) – у 1,9–3,0 рази, Західному (ділянка VI) – у 2,2–3,8 рази.

Зміна якості поверхневих вод за 2021–2023 рр. Російська збройна агресія, воєнні дії і знищення Каховського водосховища порушили гідрологічні, біологічні і фізико-хімічні процеси Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Зменшилася швидкості течії, відбулося зниження рівня води, погір-

пшився водний баланс, відбувся застій і підвищення прогріву води, відбулася висока акумуляція забруднюючих речовин, значно перевищилися рівні гранично допустимих концентрацій у поверхневих водах за рибогосподарськими, питними, культурно-побутовими та рекреаційними нормативами. Зокрема, у жаркі періоди року відбувається збільшення об'ємів використання водних ресурсів, надходження дифузного забруднення, поверхнево-ерозійних і каналізаційних стоків, пришвидшення біолого-хімічних процесів у акваторіях. Тому, липень-вересень являється найбільш індикативним періодом встановлення просторово-часових закономірностей зміни властивостей та екологічних характеристик стану якості поверхневих вод.

В результаті воєнного впливу спостерігалось щорічне погіршення гідрологічного режиму та поступове насичення біогенними речовинами у 1,4→2,1 рази поверхневих вод (рисунок 10а) у пониззі Дніпра (ділянки I і II). Це у 2022–2023рр. зумовило підвищення щільності розподілу водоростей і концентрації хлорофілу у 1,5→2,9 рази (рисунок 10б), що привело до погіршення продуктивності і значного гідробіологічного забруднення акваторії річки та погіршення трофічного статусу з «мезотрофного» до «політрофного», класу води з «чисті» перейшов до класу «брудні». Каламутність річкової води (рисунок 10в) і вміст Total Suspended Solids (рисунок 10г) підвищилися у 4,0 рази.

У заплавних озерах дельти річки (ділянка III) станом на 2022 рік, порівняно із 2021 роком, відбулося підвищення концентрації Chl-a у 1,3 рази. Заплавні озера створюють єдину водну систему у дельті Дніпра. Їх трофічний статус переважно залежить від гідрологічного зв'язку з основним руслом річки, який впродовж року формує гідрохімічний і гідробіологічний режими. Первинна і вторинна продукція сприяє інтенсивному зростанню донних відкладів та прискоренню евтрофікації. У зв'язку з цим, об'єми стоків води впливають на баланс поживних речовин у озерах, прискорюючи або навпаки стримуючи рівень седиментації. Об'єми стоків і паводків сприяють евакуації донних відкладень, створюючи позитивний екологічний ефект очищення водойм. Цей тимчасовий ефект спостерігався у 2023 році, у момент руйнації дамби Каховської гідроелектростанції, водні маси спричинили промивку заплавних озер, винесення течією політантів та біомаси водоростей до Дніпровсько-Бузького лиману, далі до Чорного моря. Концентрація біологічних та фізико-хімічних речовин у водах заплавних озер знизилася на 34,6–55,6 %.

Води річки Дніпро на 93,5 % визначають характер причинно-наслідкових зв'язків гідрологічних, біологічних та фізико-хімічних процесів Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Тому наслідком російської збройної агресії стала деградація водних ресурсів лиману. Зокрема, у Східному

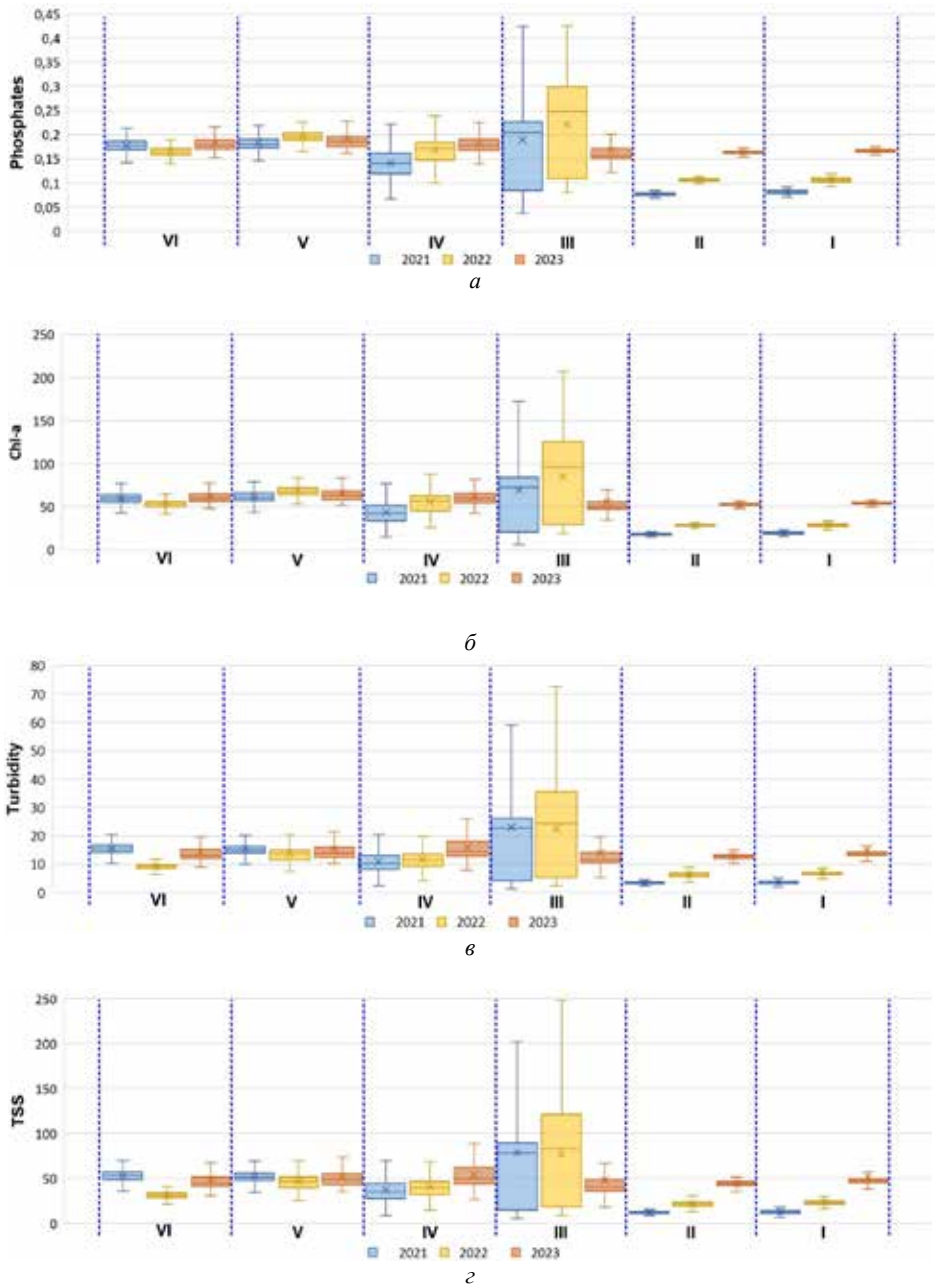


Рис. 10. Формування якості води у акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи, липень-вересень 2021–2023 рр.:

а – концентрація фосфатів (мгР/дм³); б – вміст Chl-a (мкг/дм³);
в – каламутності води (NTU); г – вміст завислих речовин (TSS, мг/дм³)

районі лиману (ділянка IV) фіксувалося підвищення середньо-сезонної концентрації Chl-a – на 42,0 %, PO_4^{3-} – на 21,4 %, Turb – на 97,8 %, TSS – на 78,7 %; Центральному районі (ділянка V) вміст поліютантів збільшився Chl-a – на 6,5 %, PO_4^{3-} – на 5,6 %, Turb – на 6,7 %, TSS – на 6,7 %; у Західному районі (ділянка VI) додаткова акумуляція забруднюючих речовин була незначною, варіювала в межах 0,5–1,2 %. Зменшення інтенсивності концентрації поліютантів від Східного до Західного районів зумовлено поступовим розбавленням речовин у водному шарі лиману.

За гідробіологічною характеристикою вмісту Chl-a, близько 15,7 % акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи втратили сезонно-фонові значення. Це призвело до прогресування евтрофікаційних процесів на 94,8 % площі акваторії естуарної системи, і погіршення якості води до політрофного стану. За рівнем біогенного забруднення PO_4^{3-} , акваторія втратила осередки із «досить чистою» водою, натомість збільшилися площі із «помірно забрудненою» і «брудною» водою на 15,3 % (77,2→92,5 %). Збільшення концентрації неорганічних та органічних тонкодисперсних часток завислих речовин (TSS), активний розвиток планктонних організмів вплинули на органолептичні властивості води та зумовили, зменшення прозорості водного шару на 28,0 % площі акваторії (42,2→70,2 %) та погіршення води до рівня «помірно забруднена» і «брудна». Значне погіршення екологічного стану Дніпровсько-Бузької естуарної системи актуалізує необхідність постійного моніторингу якості поверхневих вод, проведення аналізу умов існування гідробіонтів, пошуку вирішення водопостачання якісною водою населення селітебних територій.

Висновки. Повномасштабне російське вторгнення привело до техногенних катастроф та знищення осередків природних екосистем на півдні України, що викликало погіршення функціонування Дніпровсько-Бузької естуарної системи та вплинуло на акваторію Чорного моря. У 2022 році пониззя річки Дніпро активно використовувалося окупаційними військами для воєнної логістики ворога, переміщення техніки та озброєння. Зокрема, захоплення агресором гідротехнічних споруд, несанкціоновані скиди з Каховського водосховища, несанкціонований водозабір та перекид великих об'ємів поверхневих вод до тимчасово окупованого лівобережжя Херсонської і Запорізької областей та Автономної Республіки Крим призвели до порушення гідрологічного, біологічного та фізико-хімічного режиму естуарної системи. Ситуація значно ускладнилася знищенням 06/06/2023 року дамби Каховської гідроелектростанції, що стало масштабною техногенною катастрофою, що привела до негативних екологічних та соціально-економічних наслідків. Фіксувалося перенесення до Чорного моря великих обсягів біологічних та фізико-хімічних речовин. За окремими індикаторами перевищення їх концентрації у водних масах сягала

1,1 до 51,8 ГДК, що стало причиною забруднення прісноводними стоками акваторії Чорного моря до гирла р. Дністер і нижче. Площа забруднення водних ресурсів сягала близько 6800 км², у тому числі, близько 40 % акваторії моря мали значний та високий рівень концентрації поліутантів. Знищення дамби та осушення Каховського водосховища призвело до втрат важливого для Півдня України осередку штучної акумуляції прісних вод площею 2155 км² і погіршення сезонних характеристик гідрологічного режиму Дніпровсько-Бузької естуарної системи у 1,42–1,82 рази. В свою чергу, це зумовило насичення біогенними елементами вод річки у 2,1 рази, привело до підвищення щільності розподілу водоростей і концентрації хлорофілу у 2,9 рази, викликало погіршення прозорості та збільшення завислих речовин у 4,0 рази. За воєнний період площа деградації акваторії Дніпровсько-Бузької естуарної системи збільшилася на 15,7–28,0 %. У 2023 році 94,8 % акваторії у відповідності до гідробіологічних характеристик відповідала політрофному стану, за фізико-хімічними властивостями каламутності і завислими речовинами близько 70,2 % акваторії характеризувалися значним рівнем порушення стійкості гідроекосистеми і екологічного регресу. Отримані результати є важливим доказом наслідків екоциду, спричиненого російським збройним агресором проти України. Зокрема, дослідження є важливою інформацією для розробки заходів і впровадження технологій повоєнного відновлення екологічного стану водних джерел та забезпечення їх зональної біоцілісної рівноваги.

IMPACT OF THE WAR ON THE STATE OF THE DNIPRO-BUH ESTUARY SYSTEM AND THE BLACK SEA

¹*Pichura V.I. – Doctor of Agriculture, Professor,*

¹*Potravka L.O. – Doctor of Economics, Professor,*

²*Bahinskyi O.S. – Head of the Environmental Inspectorate*

¹*Kherson State Agrarian and Economic University,*

²*Environmental Inspectorate of the Nova Kakhovka City Military Administration,*

pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com

The environmental consequences for the territories of hostilities reduce the ecological level of security of Ukraine, first of all, in the frontline regions, areas of hostilities and occupied territories. The situation in the Dnipro-Buh estuary system became significantly more complicated after 06/06/2023, when the dam of the Kakhovka hydroelectric power plant was destroyed. As a result of the detonation of the dam, significant volumes of pollutants were transferred through the Dnipro-Buh estuary to the waters of the Black Sea, drying up and transforming the water area of the reservoir. The purpose of the article was to establish spatio-temporal patterns in the formation of surface water quality during 2021–2023 and to determine the impact of Russian armed aggression on the functioning of the water area of the Dnipro-Buh estuary system and pollution of

the Black Sea. The research was carried out according to hydrological, biological and physical-chemical indicators, each of which gives a unique insight into the state of water quality and the functioning of the water area. The negative consequences of military actions, which led in 2023 to the destruction of the Kakhovka Dam, the drying up of the reservoir, the discharge of pollutants with a concentration of 1.1–51.8 MPC and the pollution of water resources on 6,800 km² of the water area of the estuary system and the Black Sea, were established. The seasonal characteristics of the hydrological regime of the Dniepro-Buh estuary system worsened by 1.42–1.82 times. This led to the stagnation of water masses, the enrichment of water sources with biogenic substances by 2.1 times, an increase in the density of the distribution of algae and an increase in the concentration of chlorophyll by 2.9 times, the progression of eutrophication and the deterioration of mature waters to a polytrophic state, the deterioration of the physical and chemical properties of water up to 4.0 times. According to the physical-chemical properties, about 70.2% of the water area is characterized by a significant level of disturbance of hydroecosystem stability and ecological regression. The obtained results are an important proof of the consequences of ecocide by the Russian armed aggressor against Ukraine.

Keywords: impact of war, water quality, Kakhovka Reservoir, Dniepro-Buh estuary system, Dniepro River, biointegrity, mapping, Remote Sensing

Acknowledgments. The research is supported by the Canadian Institute of Ukrainian Studies (CIUS) of the University of Alberta from the Ihor Roman Bukowsky Sustainable Development Endowment Fund. Grant 17AUG23 – “A Spatial-Temporal Study of the Consequences of russian armed aggression in the Lower Dniepro Basin”.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pichura V. I., Domaratsky Y. A., Yaremko Yu. I., Volochnyuk Y. G., Rybak V. V. Strategic Ecological Assessment of the State of the Transboundary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44(3). P. 442–450.
2. Пічура В. І. Басейнова організація природокористування на водозбірній території транскордонної річки Дніпро. Херсон: «ОЛДІ-ПЛІОС», 2020. 380 с.
3. Пічура В. І. Атлас екологічного стану басейну ріки Дніпро. Херсон: «ОЛДІ-ПЛІОС», 2020. 36 с.
4. Boiko T., Boiko P., Breus D. Optimization of shelterbelts in the steppe zone of Ukraine in the context of sustainable development. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2018. Vol. 18(3.2). P. 871–876.
5. Breus D., Dudaeva O., Evtushenko O., Skok S. Organic agriculture as a component of the sustainable development of the Kheson region (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2018. Vol. 18(5.2). P. 691–697.
6. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystrantseva, A. N. Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of the Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(3). P. 445–453.

7. Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Yu., Gleick, P. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48(5). P. 631–647. DOI: 10.1080/02508060.2023.2247679
8. Romanova S., Dmytruk Y., Zhukova Y. Soil monitoring infrastructure in response to war. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81(1). DOI: 10.1080/00207233.2024.2314892
9. Napich H., Novitskiy R., Onoprienko D., Dent D., Roubik, H. Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21. 100167. DOI: 10.1016/j.wasec.2024.100167
10. Hartmane I., Biyashev B., Getman A. P., Yaroshenko O. M. Impacts of war on Ukrainian nature. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81(1). DOI: 10.1080/00207233.2024.2314856.
11. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskiy O. Natural and Climatic Transformation of the Kakhovka Reservoir after the Destruction of the Dam. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25(7). PP. 82–104. DOI: 10.12911/22998993/187961
12. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Straticchuk, N. V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper River. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21(4). PP. 1–10. DOI: 10.12911/22998993/119521
13. Кутіщев П. С., Коржов Є. І., Гончарова О. В., Козлов Л. В. Екологічна оцінка якості води Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми за гідрохімічними показниками. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 323–335. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.120.41
14. Kutishchev P. S., Korzhov Y. I., Honcharova O. V. Retrospective analysis and forecast of the main abiotic factors of the environmental conditions of ichthyofauna of the Dnipro-Buh estuary ecosystem. Topical issues of the development of veterinary medicine and breeding technologies. 2022. P. 476–792. DOI: 10.30525/978-9934-26-258-6-14
15. Проблеми басейну річки Інгулець. Звіт Державного агентства водних ресурсів України. URL: <https://davr.gov.ua/fls18/presentatsiyaIngulets.pdf>
16. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko N. Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47(2). P. 273–280.
17. Peppas M., Vasilakos Ch., Kavrouidakis, D. Eutrophication monitoring for Lake Pamvotis, Greece, using Sentinel-2 Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020. Vol. 9(3). P. 143. DOI: 10.3390/ijgi9030143
18. Zhan Y., Delegido J., Erena M., Soria J.M., Ruiz-Verdú A., Urrego P., Sòria-Perpinyà X., Vicente E., Moreno J. Mar Menor lagoon (SE Spain) chlorophyll-a and turbidity estimation with Sentinel-2. *Limnetica*. 2022. Vol. 41(1). DOI: 10.23818/limn.41.18

19. Nurjaya I. W., Surbakti H., Natih, N. M. N. Model of Total Suspended Solid (TSS) distribution due to coastal mining in Western Coast of Kundur Island part of Berhala Strait Model of Total Suspended Solid (TSS) distribution due to coastal mining in Western Coast of Kundur Island part of Berhala Strait. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 278. P. 1–17. DOI: 10.1088/1755-1315/278/1/012056
20. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Осіюк О. П., Яцик А. В. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними критеріями. Київ: Символ-Т, 1998. С. 28.
21. Юрасов С. Н., Кур'янова С. О., Юрасов Н. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 42–53.
22. Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2012. № 8. С. 1–15.
23. Gower J. F. R., King S., Borstad G. A., Brown L. Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the MERIS imaging spectrometer. *International Journal of Remote Sensing*. 2005. Vol. 26. PP. 2005–2012.
24. Потравка Л. О., Пічуря В. І., Пјасевичіус К. Антропогенно-кліматична обумовленість зміни стоку річки Дніпро. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. № 2(12). С. 191–205. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.2.14>

REFERENCES

1. Pichura V. I., Domaratsky Y. A., Yaremko Yu. I., Volochnyuk Y. G., Rybak, V. V. (2017). Strategic Ecological Assessment of the State of the Transboundary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 44(3), 442–450.
2. Pichura V. I. (2020). *Basejnova organizacija pryrodokorystuvannja na vodozbirnij terytorij transkordonnoi richky Dnipro* [Basin organization of nature conservation on the water-collecting territory of the transcordon river Dnipro]. Kherson: “OLDI-PLUS”. [in Ukrainian].
3. Pichura V. I. (2020). *Atlas ekologichnogo stanu basejnu riky Dnipro* [Atlas of the ecological state of the Dnipro River basin]. Kherson: “OLDI-PLUS”. [in Ukrainian].
4. Boiko T., Boiko P., Breus, D. (2018). Optimization of shelterbelts in the steppe zone of Ukraine in the context of sustainable development. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, Vol. 18(3.2), 871–876.
5. Breus D., Dyudyaeva O., Evtushenko O., Skok, S. (2018). Organic agriculture as a component of the sustainable development of the Kherson region

- (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, Vol. 18(5.2), 691–697.
6. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystriantseva A. N. (2018). Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of the Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 45(3), 44–453.
 7. Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Yu., Gleick, P. (2023). The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*, Vol. 48(5), 631–647. DOI: 10.1080/02508060.2023.2247679
 8. Romanova S., Dmytruk Y., Zhukova, Y. (2024). Soil monitoring infrastructure in response to war. *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 81(1). DOI: 10.1080/00207233.2024.2314892
 9. Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dent D., Roubik, H. (2024). Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*, Vol. 21, 100167. DOI: 10.1016/j.wasec.2024.100167
 10. Hartmane I., Biyashev B., Getman A. P., Yaroshenko, O. M. (2024). Impacts of war on Ukrainian nature. *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 81(1). DOI: 10.1080/00207233.2024.2314856.
 11. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Bahinskyi O. (2024). Natural and Climatic Transformation of the Kakhovka Reservoir after the Destruction of the Dam. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 25(7), 82–104. DOI: 10.12911/22998993/187961
 12. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Strachuk N. V. (2020). Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper River. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 21(4), 1–10. DOI: 10.12911/22998993/119521
 13. Kutishchev P. S., Korzhov Ye. I., Honcharova O. V., Kozlov L. V. (2021). *Ekologichna ocinka jakosti vody Dniprovs'ko-Buz'koi' estuarnoi' ekosystemy za gidrohimičnymi pokaznykamy* [Ecological assessment of water quality of the Dnieper-Buh estuary ecosystem according to hydrochemical indicators]. *Taurida Scientific Herald*, Vol. 120, 323–335. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.120.41 [in Ukrainian].
 14. Kutishchev P. S., Korzhov Y. I., Honcharova O. V. (2022). Retrospective analysis and forecast of the main abiotic factors of the environmental conditions of ichthyofauna of the Dnipro-Buh estuary ecosystem. *Topical issues of the development of veterinary medicine and breeding technologies*, 476–792. DOI: 10.30525/978-9934-26-258-6-14
 15. State Agency of Water Resources of Ukraine (2021). *Problemy basejnu richky Ingulec'* [Problems of the Ingulets River Basin. Report of the State Agency of Water Resources of Ukraine]. URL: <https://davrv.gov.ua/fls18/presentatsiyaIngulets.pdf> [in Ukrainian].

16. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko, N. (2020). Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 47(2), 273–280.
17. Peppas M., Vasilakos Ch., Kavrouidakis D. (2020). Eutrophication monitoring for Lake Pamvotis, Greece, using Sentinel-2 Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9(3), 143. DOI: 10.3390/ijgi9030143
18. Zhan Y., Delegido J., Erena M., Soria J.M., Ruiz-Verdú A., Urrego P., Sòria-Perpinyà X., Vicente E., Moreno J. (2022) Mar Menor lagoon (SE Spain) chlorophyll-a and turbidity estimation with Sentinel-2. *Limnetica*, Vol. 41(1). DOI: 10.23818/limn.41.18
19. Nurjaya I. W., Surbakti H., Natih N. M. N. (2019). Model of Total Suspended Solid (TSS) distribution due to coastal mining in Western Coast of Kundur Island part of Berhala Strait Model of Total Suspended Solid (TSS) distribution due to coastal mining in Western Coast of Kundur Island part of Berhala Strait. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, Vol. 278, 1–17. DOI: 10.1088/1755-1315/278/1/012056
20. Romanenko V., Zhulynskiy V., Oksijuk O., Yacyk A. et al. (1998). *Metodyka ekologichnoi' ocinky jakosti poverhnevnyh vod za vidpovidnyj kryterijamy* [Methodology of ecological assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: Symvol-T. [in Ukrainian].
21. Urasov S., Kurjanova S., Urasov, M. (2009). *Kompleksna ocinka jakosti vod za ryznymi metodykamy ta shljahy i'i' vdoskonalennja* [Complex estimation of quality of waters on different methods and the ways of its perfection]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, Vol. 5, 42–53. [in Ukrainian].
22. Klymenko M. O., Voznyuk N. M., Verbetska K. U. (2012). *Porivnjaj'nyj analiz normatyviv jakosti poverhnevnyh vod* [Comparative analysis of surface-water quality standards]. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, Vol. 8, 1–15. [in Ukrainian]
23. Gower J. F. R., King S., Borstad G. A., Brown, L. (2005). Detection of intense plankton blooms using the 709 nm band of the MERIS imaging spectrometer. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, 2005–2012.
24. Potravka L. O., Pichura V. I., Iljasevicius K. (2022). *Antropogenno-klimatychna obumovlenist' zminy stoku richky Dnipro* [Anthropogenic and climatic conditionality of changes in the flow of the Dnieper river]. *Water Bioresources and Aquaculture*, no. 2(12), 191–205. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.2.14> [in Ukrainian].