



УДК 502.51:504.4:528.8
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.4>

ОГЛЯД ПОТЕНЦІЙНИХ ЗМІН У РЕПРОДУКТИВНІЙ ФУНКЦІЇ РИБ ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКОГО ЛИМАНУ ЗА ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В УМОВАХ ПІДРИВУ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

М. Ю. Євтушенко¹, В. О. Демченко², Н. А. Демченко³, В. М. Клименко⁴

У публікації наведено результати огляду потенційних змін у репродуктивній функції риб іхтіоценозу Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми в умовах підвищення концентрації іонів важких металів, яке є наслідком руйнації Каховського гідровузла.

Реакція організму риб на біологічно відчутне підвищення кількісних показників іонів важких металів у воді має багатогранний характер і залежить від хімічної природи металу, його концентрації у воді, потреби організму в ньому. Відмічено, що зміни гідрохімічного режиму водойм призводять до модифікації річних біологічних циклів риб, наслідком чого є порушення процесів відтворення, зокрема нормального розвитку гонад і статевих клітин. Представлено основні шляхи потрапляння важких металів до організму риб. Узагальнено дані щодо топології накопичення важких металів в органах і тканинах риб відповідно до їх акумулятивного потенціалу, а також відомості щодо ключових фізико-хімічних параметрів середовища, які впливають на реакцію організму при дії важких металів, зазначено, що чутливість до іонів важких металів у гідробіонтів знижується зі зниженням температури навколишнього середовища. Наведено приклади патологічних змін, які виникають в організмі гідробіонтів за умови інтоксикації важкими металами, окремо розглянуто порушення репродуктивних функцій: асиметричний розвиток гонад, їх структурна деформація; раннє статеве визрівання; зміна тривалості періоду розвитку гонад; резорбція статевих клітин самиць і самців на всіх фазах розвитку, у тому числі й зрілих; збільшення кількості особин, які пропускають нерест; зниження плодючості.

¹ доктор біологічних наук, член-кореспондент НАН України
ORCID: 0000-0002-8165-8802

² доктор біологічних наук, старший дослідник,
завідувач відділу біологічних основ екологічного менеджменту
(ДУ «Інститут морської біології НАН України», м. Одеса)
e-mail: demvik.fish@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0225-3207

³ кандидат біологічних наук, науковий співробітник
(ДУ «Інститут морської біології НАН України», м. Одеса)
e-mail: bibkadem@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6469-760X

⁴ аспірант відділу біологічних основ екологічного менеджменту
(ДУ «Інститут морської біології НАН України», м. Одеса)
e-mail: vklim@i.ua
ORCID: 0000-0002-4252-3059

Зазначено, що для побудови моделі інтенсивності природного відновлення ресурсних видів риб у водоймах Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми після деокупації регіону необхідно здійснити оцінку накопичення важких металів в організмі риб і врахувати стан їх репродуктивної функції.

Ключові слова: Дніпровсько-Бузький лиман, руйнація Каховської ГЕС, важкі метали, репродуктивна функція риб, інтоксикація риб важкими металами.

REVIEW OF POTENTIAL CHANGES IN THE REPRODUCTIVE FUNCTION OF FISH IN THE DNIPRO-BUG ESTUARY UNDER THE INFLUENCE OF HEAVY METALS FOLLOWING THE DESTRUCTION OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER PLANT

M. Yu. Yevtushenko, V. O. Demchenko, N. A. Demchenko, V. M. Klymenko

The publication presents the results of a review of potential changes in the reproductive function of fish within the ichthyocenosis of the Dnipro-Buh estuarine ecosystem under conditions of increased concentrations of heavy metal ions, which is a consequence of the destruction of the Kakhovka hydrotechnical complex.

The response of fish organisms to a biologically perceptible increase in the quantitative indicators of heavy metal ions in water is multifaceted and depends on the chemical nature of the metal, its concentration in the aquatic environment, and the organism's physiological demand for it. It has been noted that changes in the hydrochemical regime of water bodies lead to modifications of the annual biological cycles of fish, resulting in disruptions of reproductive processes, particularly the normal development of gonads and gametes. The main pathways of heavy metal entry into fish organisms are presented. Data on the topology of heavy metal accumulation in fish organs and tissues according to their accumulative potential are generalized, as well as information on key physicochemical environmental parameters that influence the organism's response to heavy metal exposure. It is indicated that the sensitivity of hydrobionts to heavy metal ions decreases with decreasing ambient temperature. Examples of pathological changes that occur in hydrobiont organisms under heavy metal intoxication are provided, with particular attention given to reproductive dysfunctions, such as asymmetric gonadal development, structural deformation of the gonads, premature sexual maturation, alterations in the duration of the gonadal development period, resorption of female and male gametes at all stages of development, including mature ones, an increase in the proportion of individuals skipping spawning, and a decrease in fecundity.

It is stated that, for the construction of a model assessing the intensity of natural recovery of resource fish species in the water bodies of the Dnipro-Buh estuarine ecosystem after the de-occupation of the region, it is necessary to evaluate heavy metal accumulation in fish organisms and consider the state of their reproductive function.

Key words: Dnipro-Bug Estuary, destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, heavy metals, reproductive function of fish, fish intoxication by heavy metals.

Вступ

Екологічний стан Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми в значній мірі визначається впливом прісноводного стоку Дніпра й Південного Бугу. В умовах зарегульованості Дніпра фізико-хімічний режим його поверхневих вод виявився достатньо сформованим і досить стабільним (Кутіщев та ін., 2021). Разом із тим трансформація стоку на фоні з антропогенним впливом призводить до поступового погіршення гідрологічного та гідохімічного режимів водойми (Pichura et al., 2018), що мало негативний вплив не лише на існування, а й на умови розмноження представників різних видів риб (Вітюков, 2011; Лянзберг, 2013;

Ситник та ін., 2016; Кутіщев та ін., 2021). Згідно з даними цих авторів, за мінералізацією води, умістом іонів хлору, амонійного азоту, нітратного та нітритного азоту, фосфору, фосфатів якість води в Дніпровсько-Бузькому лимані змінюється від категорії «чистої» до «дуже брудної» води, залежно від сезону та району.

Значно змінилась екологічна ситуація в Дніпровсько-Бузькій естуарній системі в період тимчасової окупації Херсонської області, особливо після підриву окупантами Каховської гідроелектростанції (рис. 1). Із затоплених територій, у тому числі міст і населених пунктів, були змиті й потрапили до водойм регіону паливно-мастильні мате-

ріали (нафтові вуглеводні), пестициди й інші небезпечні хімічні речовини, сполуки важких металів включно з тими, що надходили з викидами промислових підприємств міст Запорізької та Дніпропетровської областей і тривалий час накопичувалися не лише у водній товщі, а й у донних відкладах і гідробіонтах, які населяли Каховське водосховище (Тучковенко і Степаненко, 2023). Як наслідок, токсичні речовини, які привнесені стоком Дніпра, у значній мірі могли зосередитися в донних відкладах лиману, суттєво погіршуючи якість води та стан його екосистеми у цілому (Пічура та ін., 2025; Shumilova et al., 2025). Сучасні дослідження після підризу греблі демонструють перевищення нормативів у воді для таких показників: рН, розчинений кисень, ХСК, БСК₅, сульфати, хлориди, мінералізація, рубідій, літій, натрій, алюміній, берилій, магній, марганець, залізо, бор, барій, цинк, ртуть, бенз(а)пірен, дибутилфталат (Калініченко та ін., 2023).

Просторова модель розподілу завислих частинок (див. рис. 1), побудована на даних за перші дні після підризу дамби Каховської ГЕС і до того, демонструє загальні закономірності розподілу водних мас, які вивільнилися внаслідок руйнації Каховського гідровузла, і локалізацію місць седиментації нерозчинних часток у межах Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми та прилеглих акваторій. За нею, осідання часток і формування зон із підвищеним рівнем забруднення відбувалося на ділянках, для яких у силу гідродинамічних особливостей характерне формування зворотної течії та мілководдя, зокрема такі ділянки відіграють важливу роль у процесах відтворення й нагулу структурних елементів іхтіоценозу. При цьому звертає увагу те, що за низького рівня води й високої температури, які характерні для літньої-осінньої межени на цій території, може значно підвищитися ступінь токсичності води на тлі

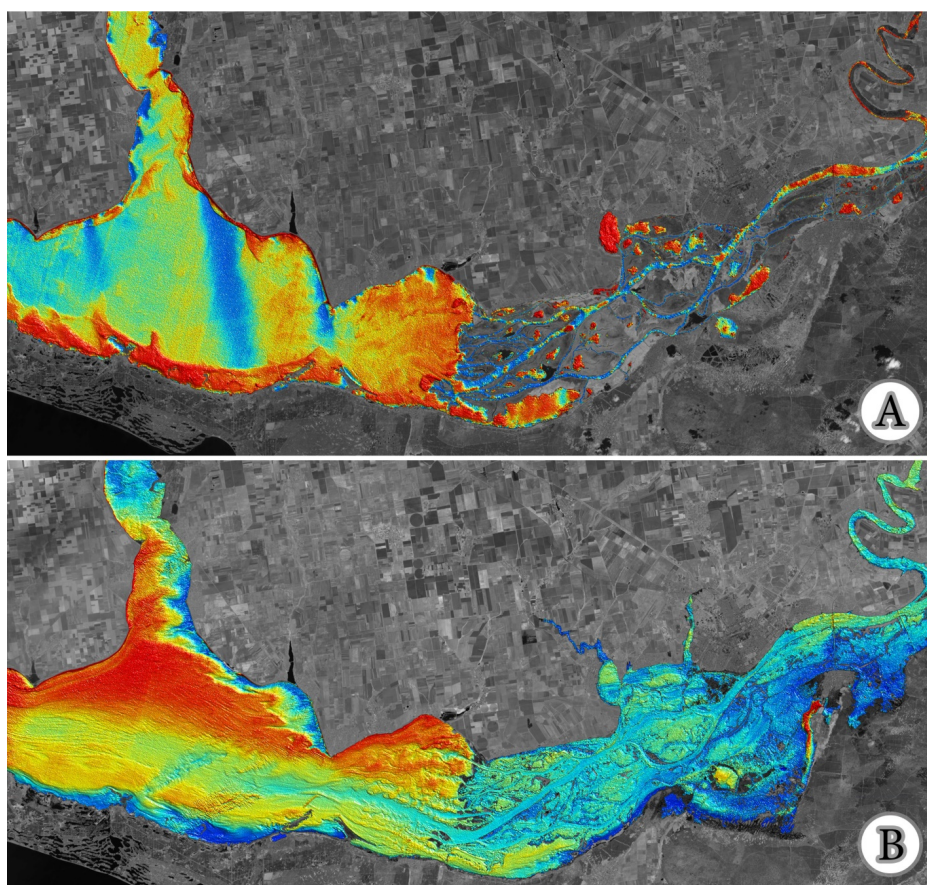


Рис. 1. Картохема розподілу водних мас і завислих речовин на основі розрахунку індексу TSS (А – 01.06.2023; В – 09.06.2023). Більш теплими тонами позначено забруднені ділянки

Джерело: сформовано автором за даними Earth Resources Observation and Science (EROS).

зниження концентрації кисню (Максимова і Шевченко, 2020).

Бурхливі потоки води та значні затоплення територій призвели до пошкоджень і загибелі ряду представників водної й повітряно-водної рослинності (Давидова та ін., 2023; Дзеркаль та ін., 2024) (рис. 2). Цей компонент екосистеми бере активну участь у формуванні показників якості води та загального рівня здоров'я екосистем, будучи залученим у процеси біологічного очищення водойм.

Хронологічна ретроспектива даних фотосинтетичної активності автотрофного компонента екосистем пониззя Дніпра показує, значні зниження індексу NDVI в літній період 2023 року для цієї території. Такі показники опосередковано вказують на втрату або суттєве зменшення потенціалу аквальних систем до саморегуляції та нормалізації низки екологічних параметрів, які в певній мірі є визначальними для іхтіологічних угруповань цієї території та для водних об'єктів як середовища існування.

Серед численних токсикантів, поширених у водному середовищі, найбільшу тенденцію до накопичення в живих організмах виявляють важкі метали (Zeitoun & Mehana, 2014). Саме тому треба зрозуміти всі ключові аспекти потрапляння, накопичення та

впливу на організми риби цих забруднюючих речовин. Важливою особливістю важких металів є те, що, потрапивши одного разу в екосистему, вони нікуди не зникають, тільки перерозподіляються по її компонентах (Арсан та ін., 2001). Вивчення впливу забруднюючих речовин на живі організми – один із напрямів, які активно розробляються вченими, але це питання ще недостатньо вивчене та потребує перманентної актуалізації. Потреба в цій інформації гостро відчувається у зв'язку зі збільшенням різноманітних забруднень водних екосистем, які призводять до загибелі чи погіршення стану іхтіоценозів. Саме тому важливість робіт щодо оцінки значення важких металів у гідроекосистемах стає все більш актуальною (Yevtushenko et al., 2021; Taslima et al., 2022; Євтушенко та ін., 2022).

Забруднення водойм політантами, які потрапили до лиману після підриву дамби Каховської ГЕС, може не лише призвести до суттєвих змін видового складу риби (Шахман і Бистрянцева, 2021), а й порушити окремі фізіологічні процеси. У межах цього напрямку варто звернути увагу на важливість вивчення потенційного впливу важких металів на відтворювальну здатність риби Дніпровсько-Бузької естуарної системи як однієї з ключових передумов підтримки

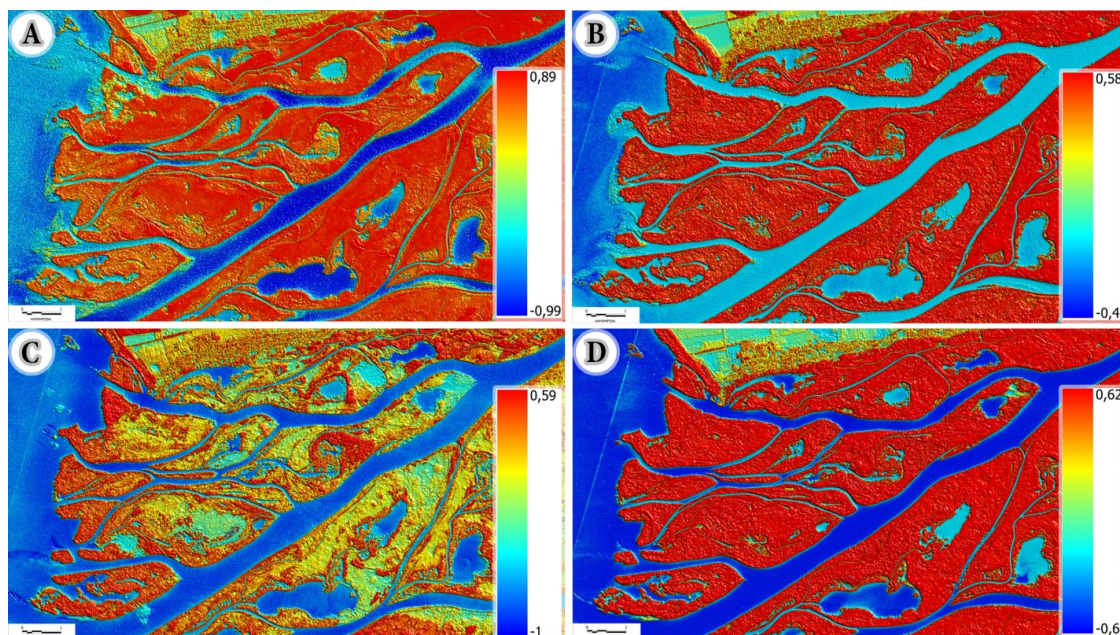


Рис. 2. Картосхема фотосинтетичної активності водної та повітряно-водної рослинності частини дельти річки Дніпро (А – 18.07.2021; В – 18.07.2022; С – 08.07.2023; D – 07.07.2024)

Джерело: сформовано автором за даними Copernicus Sentinel-2 (processed by ESA).

динамічної стійкості структури іхтіологічного ценозу водойми та його видового різноманіття. Для цього проведено огляд можливих впливів та узагальнено основні негативні зміни у фізіологічному стані риб. Цей аналіз дасть змогу зрозуміти ймовірні наслідки для іхтіологічних угруповань, що, звісно, є важливим та актуальним в умовах післявоєнного збереження й відновлення гідроекосистем регіону.

Матеріал і методи

Для написання роботи та формування достовірних висновків ми використовували методи когнітивного аналізу й експертного оцінювання наукової та методичної літератури, а також геопросторове моделювання з використанням програм геоінформаційних систем. Для побудови моделі розподілу водних мас і завислих речовин, а також моделі фотосинтетичної активності водної та повітряно-водної рослинності частини дельти р. Дніпро використовували дані супутників Sentinel-2 та Landsat 8-9 (Crippen, 1990; ... Zhang et al., 2021).

Результати та їх обговорення

Історично збідніння іхтіофауни Дніпровського-Бузької системи відбувалося на фоні зростання ступеня забруднення дніпровських вод і трансформації річкового стоку, що призвело до зникнення реофільного комплексу та значного скорочення прохідних і напівпрохідних видів (Демченко, 2019). Водночас критичним у цих умовах є залпові, неконтрольовані скиди забруднюючих вод, які можуть призводити до значних змін у структурі іхтіофауни. В умовах інтенсивного забруднення водойм у них зустрічаються лише окремі особини малоцінних видів риб, але й ці представники іхтіофауни можуть покинути забруднені ділянки або загинути безпосередньо в тій водоймі, де з водами надходять високо-токсичні сполуки.

Найбільш витривалими до дії антропогенного навантаження є еврибонтні види риб, які характеризуються широкою екологічною валентністю, і близькі до них види лімnofільного комплексу. Саме останні сьогодні є найбільш численними для Дніпровського-Бузької системи (Verlatiy et al., 2009; Демченко, 2019).

Шляхи проникнення важких металів до організму риб. Токсичність металів залежить від твердості води, рН середовища, іонної сили розчину, наявності хелатоутворюючих агентів у воді. Це зумовлено тим, що в більшості випадків найбільш токсич-

ними є незв'язані й іонні форми металів як такі, що краще проникають в організм риб.

Загалом для гідробіонтів найбільш розповсюджені метали-забруднювачі, рівень їх токсичності можна подати таким рядом:

Hg > Cd > Cu > Pb > Zn > Ni > Mn > Cr.

У процесі взаємодії важких металів з організмами риб можна виділити щонайменше два етапи: перший – проникнення, другий – накопичення. На першому етапі проходить відносно швидко поглинання елемента з водного середовища. Існує чотири головні шляхи надходження важких металів у організм риб: хемосорбція іонів слизовими оболонками; механічне захоплення завислих часток, які містять важкі метали; надходження з їжею та водою; поглинання зябрами при диханні. Характер і фізико-хімічні особливості першого етапу є погано вивченими. Однак можна сказати, що його інтенсивність зумовлена питомою поверхнею поглинання організму гідробіонта (Курант та ін., 2011).

Другий етап характеризується утворенням стійких сполук важких металів з органічними молекулами організму. Лімітується він іншими факторами, такими як проникність металу через мембранні структури, обмін речовин у самому організмі, швидкістю екскреції тощо. При певній концентрації металу в організмі настає динамічна рівновага між його надходженням та виведенням (Дудник і Євтушенко, 2013). Найзначніше накопичення важких металів має місце в поверхневих органах і тканинах. Наприклад, уміст заліза, цинку, марганцю, нікелю, кобальту, виявлених у зябрах ляща, на порядок перевищує показники, виявлені в м'язах і печінці (Литвинова та ін., 2005). Низкою авторів показано, що досить активно важкі метали акумулюються в гонадах, що пояснюється активним накопиченням у них білкових і ліпідних резервів, тоді як процеси екскреції в них сповільнені (Євтушенко і Данилко, 1996; Колесник, 2014).

За здатністю концентрувати метали (за винятком ртуті, яка найбільше накопичується в м'язовій тканині) органи й тканини можна розмістити в такому порядку – внутрішні: скелет > печінка, селезінка, нирки > кишківник, мозок, гонади, серце > червоні м'язи > білі м'язи; зовнішні: слиз > луска > шкіра > зябра. Основна частина абсолютного запасу металу локалізована в м'язовій тканині й скелеті. Концентрація металу

в ліпідній і білковій фракціях приблизно рівна (Venuto & Irefry, 1983; Євтушенко і Данилко, 1996; Курант та ін., 2011; Мельник та ін., 2011).

Особливості механізму впливу важких металів на організм риб. Основний механізм прояву токсичної дії металів і фізіолого-біохімічної адаптації до них полягає в морфо-структурних змінах на субклітинному, клітинному, тканинному й органному рівнях; модифікації основних фізіологічних функцій; взаємодії між токсикантами та біологічно активними молекулами (білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди, фосфоліпіди тощо); зміні активності функціонування окремих біохімічних реакцій, ферментних комплексів і метаболічних систем.

Важкі метали поряд із прямою токсичною дією викликають небезпечні віддалені наслідки, а саме: мутагенний, ембріотоксичний, гонадотоксичний та інші типи взаємодії (Taslima et al., 2022; Jamil Emon et al., 2023).

Найбільш токсичними для риб є солі кадмію, міді, ртуті, свинцю, цинку, срібла та тривалентного хрому. Токсична дія спостерігається вже при концентрації 0,02–0,004 мг/л (мідь, ртуть, срібло). Токсичність солей одних і тих же металів різна: нітрати цинку, міді, кадмію й нікелю більш токсичні, ніж сульфати.

При отруєнні комплексом важких металів у риб на шкірі й зябрах утворюється товста оболонка з коагуляційного слизу. Біла оболонка з шару слизу з'являється внаслідок хімічної реакції між іонами металів і секретом слизу. Гістологічні дослідження зябер і тканин отруєних риб показують значну руйнацію респіраторного епітелію.

Зворотність отруєння риб солями важких металів досить незначна. Риби, перенесені в чисту воду в стані перевертання, майже завжди гинуть (Malhotra et al., 2020; Naz et al., 2023).

Риби, знаходячись у розчинах солей важких металів, потребують великої кількості розчиненого у воді кисню (120–150% нормальної необхідності). На токсичність солей впливає також уміст у воді мінеральних солей, особливо карбонатна твердість, так як деякі солі утворюють із ними нерозчинні комплекси, у результаті чого їх токсичність значно знижується. Відповідно, у м'якій воді їх токсичність підвищується.

Вплив важких металів на репродуктивну функцію риб. Різні типи важких металів, що накопичуються в організмі риби з навко-

лишнього середовища, і їх постійне накопичення порушують формування й діяльність різних тканин та органів, включаючи репродуктивні органи (Jezierska et al., 2000; Jezierska et al., 2009).

Серед органів і тканин риб особливе місце займають гонади. Поступаючись за рівнем умісту полютантів майже всім органам і тканинам риб, які населяють чисті водойми, за зміни техногенної ситуації гонади інтенсивно нагромаджують метали. Значне зростання вмісту мікроелементів у гонадах зв'язують з їх фізіологічними особливостями, уся діяльність яких зосереджена на нагромадженні речовин білкового й ліпідного походження, тоді як процеси екскреції в цих органах відбуваються більш повільно (Munkittick & Dixon, 1989; Євтушенко і Данилко, 1996). Автори вважають, що на ділянках водойм із високою концентрацією важких металів зниження чисельності іхтіофауни й окремих її видів, які постійно знаходяться в цих місцях, відбувається через неякісні статеві продукти плідників, що призводить до зниження рівня виживання личинок у ранньому онтогенезі.

Дослідження самиць коропа під час нересту й ікри на різних стадіях ембріонального розвитку під впливом марганцю й міді в модельних експериментах показали, що в дорослих особин у період нересту практично не зареєстровано накопичення важких металів в ікрі, так як вони значною мірою мобілізують адаптогенні можливості, за яких іде посилене виведення важких металів з організму та їх значний міжорганний перерозподіл. Для заплідненої ікри на стадіях дробіння й органогенезу зафіксовано накопичення іонів міді та марганцю прямо пропорційне їх концентрації у воді. Установлено чіткий дозозалежний ефект дії важких металів на перекисне окислення ліпідів (Jezierska et al., 2000; Jezierska et al., 2009).

Як уже відмічалось раніше (Horning & Neiheisel, 1979), відтворювальна здатність риб після відносно нетривалої дії на них важких металів, зокрема іонів міді, може відновлюватися. Підтвердженням цих висновків є також результати досліджень, якими встановлено, що витримування пунтіуса протягом 2–4-х місяців у воді з концентрацією міді в $1/3$ АД₅₀ викликало лише тимчасове порушення перебігу сперматогенезу, а також артезію в яєчниках (Kumar & Pant, 1984).

Установлено, що період визрівання ооцитів супроводжується накопиченням у яєч-

никах риб міді, марганцю, заліза, цинку. Цей процес проходить особливо інтенсивно на III стадії зрілості яєчників, коли розпочинається так званий період «великого росту» ооцитів у зв'язку з формуванням жовтка. Високий уміст мікроелементів спостерігається в плівки навіть в останній стадії, тобто перед нерестом. Установлено, що в процесі ікрометання організм самок утрачає значну частину накопичених політантів (Riggio et al., 2003).

У багатьох видів риб, які населяють водойми Середньої Азії (лящ, сазан, судак, плітка, аральський вусач, білізна, білий товстолоб тощо), що забруднені переважно пестицидами, гербіцидами й мінеральними добривами, що надходять із поверхневими водами й дренажним стоком, виявлено більш раннє статеве визрівання особин, аномальний розвиток гонад і різні порушення репродуктивного циклу. Частина самок у водоймах пониззя Амудар'ї взагалі пропускала нерестовий сезон (Zholdasova & Guseva, 1987; Pavlovskaya, 2025).

У риб, які населяють водойми з певними коливаннями показників гідрохімічного складу води, гідрологічного режиму, із забрудненням її важкими металами, пестицидами та гербіцидами, зареєстровані суттєві зміни в обміні речовин і у функціонуванні репродуктивної системи. Поширеним явищем є асиметричний розвиток гонад, такі ж аномалії виявлені й у самців білого та строкатого товстолобів, яких вирощували в ставках Молдови, розташованих у пониззі Дністра (Sapozhnikova et al., 2005; Romanescu, et al., 2022).

Дослідженнями, проведеними в акваріальних умовах, установлено, що іони міді в концентраціях від 0,01 мкг/л до 1 мкг/л та іони марганцю в концентраціях від 0,05 мкг/л до 1 мкг/л викликають токсичну дію на ооцити коропових риб навіть за короткий (21 доба) термін впливу.

Експериментально встановлено, що в риб (*Pimephales notatus*), які піддавалися дії іонів міді, відмічалися суттєві порушення відтворювальної здатності. Кількість ікри, отриманої від однієї самки, зменшувалося вже за концентрації міді рівній 18 мкг/л (Horning & Neiheisel, 1979).

Перенесення ж риб із контрольного акваріуму в дослідний із концентрацією міді 119,4 мкг/л супроводжувалося повним припиненням ікрометання в представників роду *Pimephales*. Відновлення ікрометання в риб відбувалося лише через 60 діб після

їх перенесення з дослідного до контрольного акваріуму з чистою водою. На основі зниження функції відтворення риб установлена гранично припустима концентрація міді, яка знаходиться між 4,3 (контроль) і 18,0 мкг/л іонів міді (Horning & Neiheisel, 1979).

У водоймах із зміненим гідрологічним і гідрохімічним режимами в багатьох видів риб відмічається резорбція статевих клітин. Резорбція зрілих статевих клітин, як правило, приводить до зниження коефіцієнта зрілості риб (гонадосоматичних індексів), а також до зниження індивідуальної абсолютної плодючості деяких видів риб на 20–25%.

Реакція репродуктивної системи риб на різні антропогенні впливи досить різноманітна (Khanam et al., 2022). Найбільш загальними й надзвичайно поширеними видами порушень відтворювальної функції риб є асиметричний розвиток гонад і їх структурна деформація; раннє статеве дозрівання; зміна тривалості періодів розвитку статевих залоз; резорбції статевих клітин самок і самців на всіх фазах розвитку, у тому числі й зрілих; збільшення числа риб, які пропускають нерест, зниження плодючості.

Отже, загалом дія важких металів має багатогранний і різновекторний характер. Виходячи із цього, можна відмітити, що, хоча активність сорбційних процесів і накопичення важких металів в організмі не завжди відображає істинну токсичність того чи іншого металу, рівень акумулювання є одним із основних показників токсичної дії важких металів. Разом із тим для встановлення чіткої характеристики функціонально-фізіологічного стану водних організмів виникає необхідність у більш складних та інформативних тестах. Таким чином, в умовах післявоєнного відновлення екологічного стану водойм необхідно буде враховувати особливості накопичення важких металів в організмах гідробіонтів і риб зокрема, так як вони впливають на репродуктивну функцію. Це, у свою чергу, пов'язано з темпами відновлення рідкісних і промислових видів риб, які є важливими елементами природоохоронних і рибогосподарських територій регіону.

Висновки

Отже, з урахуванням викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Зміни гідрохімічного режиму водойм призводять до модифікації річних біоло-

гічних циклів риб, наслідком чого є порушення процесів відтворення, зокрема нормального розвитку гонад і статевих клітин. Біологічний відгук риб на збільшення концентрації іонів металів у воді багатогранний і залежить від хімічної природи металу, його концентрації, потреби організму в ньому, а також від фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища.

2. Головними фізико-хімічними факторами, які впливають на реакцію організму при дії важких металів, є температура, рН середовища, твердість води, наявність у воді хелатоутворюючих агентів і домішок. Відмічено, що чутливість до іонів важких металів у гідробіонтів знижується зі зниженням температури навколишнього середовища.

3. Іони важких металів проникають із навколишнього середовища в організм гідробіонтів і, накопичуючись в їхніх органах і тканинах, суттєво впливають на протікання фізіолого-біохімічних процесів. Ступінь тканинного акумулювання металів визначається їх концентрацією у воді, тривалістю дії, а також метаболічними потре-

бами організму в тому чи іншому елементі. Підвищені концентрації іонів важких металів у воді призводять до посилення катаболічних процесів, які призводять до патологічних змін в організмі гідробіонтів.

4. Забруднення водойм поліютантами різної природи викликає значні зміни у функціонуванні різних систем організму риб, у тому числі й у репродуктивній. Найбільш часто зустрічаються такі порушення репродуктивної функції, як асиметричний розвиток гонад і їх структурна деформація, раннє статеве визрівання, зміна тривалості періоду розвитку гонад, резорбція статевих клітин, самиць і самців на всіх фазах розвитку, у тому числі й зрілих, збільшення кількості особин, які пропускають нерест, і зниження плодючості.

5. Для відновлення популяцій промислових і другорядно промислових риб Дніпровсько-Бузького лиману після деокупації регіону необхідно здійснити оцінку накопичення важких металів в організмі риб і врахувати стан їхньої репродуктивної функції. Це дасть змогу спрогнозувати інтенсивність природного відновлення ресурсних видів риб у водоймах регіону.

Список використаної літератури

Арсан О.М., Ситник Ю.М., Шаповал Т.М., Кукля І.Г., Пасічна О.О., Магомедова З.Б. Екологотоксикологічні дослідження внутрішніх водойм Києва. *Наукові записки Тернопільського педуніверситету ім. В. Гнатюка. Серія «Біологія». Спец. випуск «Гідроекологія»*. Тернопіль, 2001. Вип. 3(14). С. 176–177.

Вітюков Ю.Є. Абіотичні умови існування іхтіофауни в Дніпровсько-Бузькій гирловій ділянці і перспективи раціонального використання біопродуктивного потенціалу. *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 1. С. 110–115. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gnc_2011_1_21 (дата звернення: 01.09.2025).

Давидова А.О., Дзеркаль В.М., Клименко В.М. Сучасний стан та оцінка прогнозованих втрат вищої водної та повітряно-водної рослинності НПП «Нижньодніпровський» (Херсонська обл., Україна). *Актуальні проблеми ботаніки та екології* : матеріали міжнар. конф. молодих учених (Івано-Франківськ, 27–30 вересня 2023 р.). Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2023. С. 37.

Демченко Н.А. Особливості іхтіоценозу акваторій НПП «Нижньодніпровський». *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології* : матеріали XII іхтіологічної наук.-практ. конф. (Дніпро, 26–28 вересня 2019 р.) / за заг. ред. Р.О. Новіцького. Дніпро : Акцент ПП, 2019. С. 86–90.

Дзеркаль В.М., Давидова А.О., Клименко В.М. Вплив військових дій на екосистеми національного природного парку «Нижньодніпровський». *Функціонування об'єктів природно-заповідного фонду України в умовах воєнного стану: шляхи відновлення та розвитку* : збірник матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 4–5 липня 2024 р.). Київ : Центр екол. освіти та інформації, 2024. С. 64–66.

Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.

Євтушенко М.Ю., Данилко О.В. Особливості накопичення важких металів в тканинах риб Кременчуцького водосховища. *Гідробіологічний журнал*. 1996. Т. 32. № 4. С. 58–66.

Євтушенко М.Ю., Рудик-Леуська Н.Я., Хижняк М.І. Екологічний стан та фізіологічний статус риб за впливу теплового забруднення водойм : монографія. Київ, 2022. 103 с.

Калініченко О.О., Мельников А.Ю., Нікітіна С.В., Волков Ю.В., Мартинюк Д.Т. Стан водних об'єктів Миколаївської та Херсонської областей у зв'язку з надзвичайною ситуацією, спричиною підривом греблі та ГЕС Каховського водосховища. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* : збірник наук. статей XIX Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 14–15 вересня 2023 р.). Харків : УКРНДІЕП, 2023. С. 225–230.

Колесник Н.А. Розподіл важких металів серед компонентів прісноводних екосистем (огляд). *Рибогосподарська наука України*. 2014. № 3. С. 35–54.

Курант В.З., Хоменчук В.О., Бияк В.Я. Шляхи проникнення та вміст важких металів в організмі риб (огляд). *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія «Біологія»*. Тернопіль, 2011. Вип. 2(47). С. 262–269.

Кутіщев П.С., Коржов Є.І., Гончарова О.В., Козлов А.В. Екологічна оцінка якості води Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми за гідрохімічними показниками. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2021. Вип. 120. С. 323–335. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.41>

Литвинова Т.Г., Мельник А.П., Стецюк З.А. та ін. Фактори накопичення важких металів в екосистемі Дніпровських водосховищ. *Рибне господарство*. 2005. Вип. 64. С. 131–143.

Лянзберг О.В. Екологічна оцінка пониззя Дніпра у зв'язку з антропогенним навантаженням. *Таврійський науковий вісник. Серія «Екологія, іхтіологія та аквакультура»*. 2013. Вип. 88. С. 287–293.

Максимова Н.М., Шевченко І.О. Екологічна оцінка води ріки Самара за категоріями. *Дніпро : ДДАЕУ*, 2020. С. 53–55.

Мельник А.П., Власова Н.М., Захарченко І.Л. Розподіл та накопичення важких металів в органах і тканинах промислових видів риб Каховського водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 1. С. 75–80.

Пічура В.І., Потравка Л.О., Білошкурченко О.С. Дослідження наслідків руйнації Каховської дамби та осушення водосховища для населення України. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2025. Т. 9. № 1. С. 218–247. <https://doi.org/10.32782/wba.2025.1.20>.

Ситник Ю., Пилипенко Ю., Шевченко П., Плуатарьов В., Колесник Н. П., Симон М., Мельник А., Дорофій Н. Важкі метали в органах і тканинах стерлят (*Acipenser ruthenus* L.) у Дніпровсько-Бузькому морському муловіні. *Рибогосподарська наука України*. 2016. № 3(37). С. 5–21. <http://dx.doi.org/10.15407/fsu2016.03.005>.

Тучковенко Ю., Степаненко С. Вплив руйнування греблі Каховської ГЕС на екологічний стан Одеського району Чорного моря. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2023. № 44. С. 71–80. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.71-80>.

Шахман І.О., Бистрянцева А.М. Вплив якості річкової води на динаміку промислу у Дністровському лимані та в Кучурганському водосховищі. *Екологічні науки*. 2021. № 4(37). С. 60–64.

Copernicus Sentinel-2 (processed by ESA). MSI Level-2A BOA Reflectance Product. Collection 1. European Space Agency, 2021. https://doi.org/10.5270/S2_-znk9xsj.

Crippen R.E. Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*. 1990. Vol. 34. P. 71–73.

Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. Landsat 8–9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2 [dataset]. U.S. Geological Survey, 2020. <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6>.

Horning W.B., Neihsel T.W. Chronic effect of copper on the bluntnose minnow, *Pimephales notatus* (Rafinesque). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1979. Vol. 8. P. 545–552.

Jamil Emon F., Rohani M.F., Sumaiya N., Tuj Jannat M.F., Akter Y., Shahjahan M., Abdul Kari Z., Tahiluddin A.B., Goh K.W. Bioaccumulation and Bioremediation of Heavy Metals in Fishes – A Review. *Toxics*. 2023. Vol. 11(6). P. 510. <https://doi.org/10.3390/toxics11060510>.

Jezierska B., Ługowska K., Witeska M., Sarnowski P. Malformations of newly hatched common carp larvae. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 2000. Vol. 3. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume3/issue2/fisheries/art-01.html> (дата звернення: 01.09.2025).

Jezierska B., Ługowska K., Witeska M. The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). *Fish Physiology and Biochemistry*. 2009. Vol. 35(4). P. 625–640. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9284-4>.

- Khanam T., Al-Emran M., Rahman M.S., Hasan J., Ferdous Z., Rohani M.F., Shahjahan M. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*. 2022. Vol. 9. P. 858. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013>.
- Kumar S., Pant S.C. Comparative effects of the sublethal poisoning of zinc, copper and lead on the gonads of the teleost *Puntius conchonus* Ham. *Toxicology Letters*. 1984. Vol. 23. P. 189–194.
- Malhotra N., Ger T.R., Uapipatanakul B., Huang J.C., Chen K.H., Hsiao C.D. Review of Copper and Copper Nanoparticle Toxicity in Fish. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10(6). P. 1126. <https://doi.org/10.3390/nano10061126>.
- Munkitick K.R., Dixon D.G. Reproductive impairment and biochemical changes in fish exposed to contaminants. *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 188/189. P. 123–135.
- Naz S., Chatha A.M.M., Téllez-Isaías G., Ullah S., Ullah Q., Khan M.Z., Shah M.K., Abbas G., Kiran A., Mushtaq R. A Comprehensive Review on Metallic Trace Elements Toxicity in Fishes and Potential Remedial Measures. *Water*. 2023. Vol. 15. P. 3017. <https://doi.org/10.3390/w15163017>.
- Pavlovskaya L.P. Fishery in the Lower Amu-Darya under the Impact of Irrigated Agriculture. *FAO Corporate Document Repository*. Karakalpak Branch, Academy of Sciences of Uzbekistan. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.fao.org/docrep/v9529e/v9529E04.htm> (дата звернення: 08.09.2025).
- Pichura V.I., Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Spatial and temporal regularities of water quality formation in the Dnieper River. *Biological Resources and Nature Management*. 2018. Vol. 10. № 1–2. P. 44–57.
- Riggio M., Filosa S., Parisi E., Scudiero R. Changes in zinc, copper and metallothionein contents during oocyte growth and early development of the teleost *Danio rerio* (zebrafish). *Comparative Biochemistry and Physiology C: Toxicology and Pharmacology*. 2003. Vol. 135(2). P. 191–196. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(03\)00107-8](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(03)00107-8).
- Romanescu V., Moshu A., Trombitsky I. Changes in the Fish Biodiversity of the Lower Dniester River (Moldova). *Biodiversity Online Journal*. 2022. Vol. 3(3). BOJ.000561. <https://doi.org/10.31031/BOJ.2022.03.000561>.
- Sapozhnikova Y., Zubcov N., Hungerford S., Roy L.A., Boicenco N., Zubcov E., Schlenk D. Evaluation of pesticides and metals in fish of the Dniester River, Moldova. *Chemosphere*. 2005. Vol. 60(2). P. 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.061>.
- Shumilova O., et al. Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*. 2025. Vol. 387. P. 1181. <https://doi.org/10.1126/science.adn8655>.
- Taslima K., Al-Emran M., Rahman M.S., Hasan J., Ferdous Z., Rohani M. F., Shahjahan M. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*. 2022. Vol. 9. P. 858–868. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013>.
- Venuto C., Ireffy J.K. Frequency distribution patterns and partitioning of copper, iron and zinc in selected tissues of the black mullet (*Mugil cephalus*). *Florida Scientist*. 1983. Vol. 46. № 3–4. P. 346–355.
- Yevtushenko N.Yu., Dudnyk S.V., Rudyk-Leuska N.Ya., Khuzhniak M.I. Factors determining the degree of toxicity of heavy metals to fish (review). *Journal of Hydrobiology*. 2021. Vol. 57. P. 75–85.
- Zeitoun M.M., Mehana E.S.E. Impact of heavy metal water pollution on fish health: a review and update. *Global Veterinaria*. 2014. Vol. 12. P. 219–231. <https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2014.12.02.82219>.
- Zhang X., Song Y., Chen J., Huang J. Landsat Image-Based Retrieval and Analysis of Spatiotemporal Variation of Total Suspended Solid Concentration in Jiaozhou Bay, China. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. P. 4796. <https://doi.org/10.3390/rs13234796>.
- Zholdasova I.M., Guseva L.N. Ichthyofauna. The reaction of freshwater systems to man-induced impacts. Tashkent : FAN, 1987. P. 76–108.

References

- Arsan, O.M., Sytnyk, Yu.M., Shapoval, T.M., Kuklia, I.H., Pasichna, O.O., & Mahomedova, Z.B. (2001). Ekologhotoksykologichni doslidzhennia vnutrishnikh vodoim Kyieva [Ecotoxicological studies of inland water bodies of Kyiv]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho pedahohichnoho universytetu im. V. Hnatiuka. Serii: Biologhiia. Spetsialnyi vypusk: Hidroekologhiia* [Scientific Notes of Ternopil Pedagogical University named after V. Hnatiuk. Series: Biology. Special Issue: Hydroecology], 3(14), 176–177 [in Ukrainian].
- Vitiukov, Yu.Ye. (2011). Abiotychni umovy isnuvannia ikhtiofauny v Dniprovsko-Buzkii hyrlovii diliantsi i perspektyvy ratsionalnoho vykorystannia bioproduktyvnoho potentsialu [Abiotic

conditions of ichthyofauna existence in the Dnipro–Buh estuarine area and prospects for rational use of bioproductive potential]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 1, 110–115. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnu_2011_1_21 (access date 01.09.2025) [in Ukrainian].

Davydova, A.O., Dzerkal, V.M., & Klymenko, V.M. (2023). Suchasnyi stan ta otsinka prohnovovanykh vtrat vyshchoi vodnoi ta povitria-vodnoi roslynnosti NPP “Nyzhniodniprovs’kyi” (Khersonska oblast, Ukraina) [Current state and assessment of predicted losses of higher aquatic and air–aquatic vegetation of the “Nyzhniodniprovs’kyi” National Nature Park (Kherson region, Ukraine)]. In *Aktualni problemy botaniky ta ekolohii: Materialy mizhnarodnoi konferentsii molodykh uchenykh* (Ivano-Frankivsk, September 27–30, 2023) [Current issues of botany and ecology: Proc. of the Int. Conf. of young scientists] (p. 76). Ivano-Frankivsk: Suprun V.P. [in Ukrainian].

Demchenko, N.A. (2019). Osoblyvosti ikhtiozhenozu akvatorii NPP “Nyzhniodniprovs’kyi” [Features of the ichthyocenosis of water areas of the “Nyzhniodniprovs’kyi” National Nature Park]. In R.O. Novitskyi (Ed.), *Suchasni problemy teoretychnoi ta praktychnoi ikhtiologii: Materialy XII ikhtiologichnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Dnipro, September 26–28, 2019) [Modern problems of theoretical and applied ichthyology: Proc. of the XII scientific–practical conf.] (pp. 86–90). Dnipro: Aktsent PP [in Ukrainian].

Dzerkal, V.M., Davydova, A.O., & Klymenko, V.M. (2024). Vplyv viiskovykh dii na ekosystemy Natsionalnoho pryrodnoho parku “Nyzhniodniprovs’kyi” [Impact of military actions on the ecosystems of the “Nyzhniodniprovs’kyi” National Nature Park]. In *Funktsionuvannia obektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy v umovakh voiennoho stanu: shliakhy vidnovlennia ta rozvytku: Zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Kyiv, July 4–5, 2024) [Functioning of nature reserve objects of Ukraine under martial law: ways of restoration and development: Proc. of the All-Ukrainian scientific–practical conf.] (pp. 64–66). Kyiv: Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii [in Ukrainian].

Dudnyk, S.V., & Yevtushenko, M.Yu. (2013). *Vodna toksykologhiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia* [Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application]. Kyiv: Ukrainian Phytosociological Centre [in Ukrainian].

Yevtushenko, M.Yu., & Danylko, O.V. (1996). Osoblyvosti nakopychennia vazhkykh metaliv v tkanynakh ryb Kremenchutskoho vodoskhovyshcha [Peculiarities of heavy metal accumulation in fish tissues of the Kremenchuk Reservoir]. *Hidrobiologichnyi zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 32(4), 58–66 [in Ukrainian].

Yevtushenko, M.Yu., Rudyk-Leuska, N.Ya., & Khyzhniak, M.I. (2022). Ekolohichnyi stan ta fiziologichnyi status ryb za vplyvu teplovoho zabrudnennia vodoim [Ecological state and physiological status of fish under the influence of thermal pollution of water bodies]. Kyiv [in Ukrainian].

Kalinichenko, O.O., Melnykov, A.Yu., Nikitina, S.V., Volkov, Yu.V., & Martyniuk, D.T. (2023). Stan vodnykh obektiv Mykolaivskoi ta Khersonskoi oblastei u zv’iazku z nadzvychainoiu sytuatsiieiu, sprychynenoio pidryvom hrebli ta HES Kakhovskoho vodoskhovyshcha [Condition of water bodies of Mykolaiv and Kherson regions in connection with the emergency caused by the destruction of the Kakhovka Dam and HPP]. *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia: Zbirnyk naukovykh statei XIX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Kharkiv, September 14–15, 2023) [Environmental safety: problems and solutions: Proc. of the XIX Int. scientific–practical conf.] (pp. 225–230). Kharkiv: UKRNDIEP [in Ukrainian].

Kolesnyk, N.L. (2014). Rozpodil vazhkykh metaliv sered komponentiv prysnovodnykh ekosystem (ohliad) [Distribution of heavy metals among components of freshwater ecosystems (review)]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, (3), 35–54 [in Ukrainian].

Kurant, V.Z., Khomenchuk, V.O., & Byiak, V.Ya. (2011). Shliakhy pronynennia ta vmist vazhkykh metaliv v orhanizmi ryb (ohliad) [Ways of penetration and content of heavy metals in the organism of fish (review)]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni V. Hnatiuka. Seria: Biologiia [Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University named after V. Hnatiuk. Series: Biology]*, 2(47), Spec. iss., 262–269. Ternopil [in Ukrainian].

Kutishchev, P.S., Korzhov, Ye.I., Honcharova, O.V., & Kozlov, L.V. (2021). Ekolohichna otsinka yakosti vody Dniprovsko-Buzkoi estuarnoi ekosystemy za hidrohimichnymi pokaznykamy [Ecological assessment of water quality in the Dnipro–Buh estuarine ecosystem based on hydrochemical indicators]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sciences]*, 120, 323–335. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.41> [in Ukrainian].

- Lytvynova, T.H., Melnyk, A.P., & Stetsiuk, Z.A., et al. (2005). Faktory nakopychennia vazhkykh metaliv v ekosystemi Dniprovs'kykh vodoskhovyshch [Factors of heavy metal accumulation in the ecosystem of the Dnipro reservoirs]. *Rybne hospodarstvo [Fisheries]*, 64, 131–143 [in Ukrainian].
- Lianzberh, O.V. (2013). Ekolohichna otsinka ponyzzia Dnipra u zv'iazku z antropohennym navantazhenniam [Ecological assessment of the Lower Dnipro in relation to anthropogenic pressure]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ekolohiia, ikhtiologiia ta akvakultura [Tavria Scientific Bulletin. Ecology, Ichthyology and Aquaculture]*, 88, 287–293 [in Ukrainian].
- Maksymova, N.M., & Shevchenko, I.O. (2020). Ekolohichna otsinka vody riky Samara za katehoriiami [Ecological assessment of the Samara River water by categories]. Dnipro: DDAEU. pp. 53–55 [in Ukrainian].
- Melnyk, A.P., Vlasova, N.M., & Zakharchenko, I.L. (2011). Rozpodil ta nakopychennia vazhkykh metaliv v orhanakh i tkanyakh promyslovykh vydiv ryb Kakhovskoho vodoskhovyshcha [Distribution and accumulation of heavy metals in organs and tissues of commercial fish species of the Kakhovka Reservoir]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 1, 75–80 [in Ukrainian].
- Pichura, V.I., Potravka, L.O., & Biloshkurenko, O.S. (2025). Doslidzhennia naslidkiv ruinatsii Kakhovskoi damby ta osushennia vodoskhovyshcha dlia naselennia Ukrainy [Study of the consequences of the Kakhovka Dam destruction and reservoir drainage for the population of Ukraine]. *Vodni bioresursy ta akvakultura [Aquatic Bioresources and Aquaculture]*, 9(1), 218–247. <https://doi.org/10.32782/wba.2025.1.20> [in Ukrainian].
- Sytnyk, Yu., Pylypenko, Yu., Shevchenko, P., Pluhatarov, V., Kolesnyk, N. P., Symon, M., Melnyk, A., & Dorofei, N. (2016). Vazhki metaly v orhanakh i tkanyakh sterliat (*Acipenser ruthenus* L.) u Dniprovs'ko-Buzkomu morskomy mulovyni [Heavy metals in organs and tissues of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) in the Dnipro–Buh marine estuary]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 3(37), 5–21. <https://doi.org/10.15407/fsu2016.03.005> [in Ukrainian].
- Tuchkovenko, Yu., & Stepanenko, S. (2023). Vplyv ruinuвання hrebli Kakhovskoi HES na ekolohichnyi stan Odeskoho raionu Chornoho moria [Impact of the Kakhovka HPP dam destruction on the ecological state of the Odesa region of the Black Sea]. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky [Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulics]*, 44, 71–80. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.71-80> [in Ukrainian].
- Shakhman, I.O., & Bystryantseva, A.M. (2021). Vplyv yakosti richkovoï vody na dynamiku promyslu u Dnistrovskomu lymani ta v Kuchurhanskomu vodoskhovyshchi [Influence of river water quality on fishery dynamics in the Dniester Estuary and the Kuchurhan Reservoir]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences]*, 4(37), 60–64 [in Ukrainian].
- Copernicus Sentinel-2 (processed by ESA). *MSI Level-2A BOA Reflectance Product. Collection 1.* – European Space Agency, 2021. https://doi.org/10.5270/S2_znk9xsj [in English].
- Crippen, R.E. (1990). Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*, 34, 71–73 [in English].
- Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. *Landsat 8–9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2* [dataset]. – U.S. Geological Survey, 2020. <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6> [in English].
- Horning, W.B., & Neiheisel, T.W. (1979). Chronic effect of copper on the bluntnose minnow, *Pimephales notatus* (Rafinesque). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 8, 545–552 [in English].
- Jamil, Emon F., Rohani, M.F., Sumaiya, N., Tuj, Jannat M.F., Akter, Y., Shahjahan, M., Abdul, Kari Z., Tahiluddin, A.B., & Goh, K.W. (2023). Bioaccumulation and Bioremediation of Heavy Metals in Fishes – A Review. *Toxics*, 11(6), 510. <https://doi.org/10.3390/toxics11060510> [in English].
- Jezierska, B., Ługowska, K., Witeska, M., & Sarnowski, P. (2000). Malformations of newly hatched common carp larvae. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 3. [Electronic resource] URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume3/issue2/fisheries/art-01.html> (access date 01.09.2025) [in English].
- Jezierska, B., Ługowska, K., & Witeska, M. (2009). The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). *Fish Physiology and Biochemistry*, 35(4), 625–640. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9284-4> [in English].
- Khanam, T., Al-Emran, M., Rahman, M.S., Hasan, J., Ferdous, Z., Rohani, M. F., & Shahjahan, M. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*, 9, 858. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013> [in English].

- Kumar, S., & Pant, S.C. (1984). Comparative effects of the sublethal poisoning of zinc, copper and lead on the gonads of the teleost *Puntius conchonius* Ham. *Toxicology Letters*, 23, 189–194 [in English].
- Malhotra, N., Ger, T.R., Uapipatanakul, B., Huang, J.C., Chen, K.H., & Hsiao, C.D. (2020). Review of Copper and Copper Nanoparticle Toxicity in Fish. *Nanomaterials*, 10(6), 1126. <https://doi.org/10.3390/nano10061126> [in English].
- Munkittick, K.R., & Dixon, D.G. (1989). Reproductive impairment and biochemical changes in fish exposed to contaminants. *Hydrobiologia*, 188/189, 123–135 [in English].
- Naz, S., Chatha, A.M.M., Téllez-Isaías, G., Ullah, S., Ullah, Q., Khan, M.Z., Shah, M.K., Abbas, G., Kiran, A., & Mushtaq, R. (2023). A Comprehensive Review on Metallic Trace Elements Toxicity in Fishes and Potential Remedial Measures. *Water*, 15, 3017. <https://doi.org/10.3390/w15163017> [in English].
- Pavlovskaya, L.P. (n.d.). Fishery in the Lower Amu-Darya under the Impact of Irrigated Agriculture. FAO Corporate Document Repository. Karakalpak Branch, Academy of Sciences of Uzbekistan. [Electronic resource] URL: <http://www.fao.org/docrep/v9529e/v9529E04.htm> (access date 08.09.2025) [in English].
- Pichura, V.I., Shakhman, I.A., & Bystriantseva, A.N. (2018). Spatial and temporal regularities of water quality formation in the Dnieper River. *Biological Resources and Nature Management*, 10(1–2), 44–57 [in English].
- Riggio, M., Filosa, S., Parisi, E., & Scudiero, R. (2003). Changes in zinc, copper and metallothionein contents during oocyte growth and early development of the teleost *Danio rerio* (zebrafish). *Comparative Biochemistry and Physiology C: Toxicology and Pharmacology*, 135(2), 191–196. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(03\)00107-8](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(03)00107-8) [in English].
- Romanescu, V., Moshu, A., & Trombitsky, I. (2022). Changes in the Fish Biodiversity of the Lower Dniester River (Moldova). *Biodiversity Online Journal*, 3(3), BOJ.000561. <https://doi.org/10.31031/BOJ.2022.03.000561> [in English].
- Sapozhnikova, Y., Zubcov, N., Hungerford, S., Roy, L.A., Boicenco, N., Zubcov, E., & Schlenk, D. (2005). Evaluation of pesticides and metals in fish of the Dniester River, Moldova. *Chemosphere*, 60(2), 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.061> [in English].
- Shumilova, O., et al. (2025). Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science*, 387, 1181. <https://doi.org/10.1126/science.adn8655> [in English].
- Taslima, K., Al-Emran, M., Rahman, M.S., Hasan, J., Ferdous, Z., Rohani, M. F., & Shahjahan, M. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports*, 9, 858–868. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013> [in English].
- Venuto, C., & Irefry, J.K. (1983). Fraguency distribution patterns and partitioning of copper, iron and zinc in selected tissues of the black mullet (*Mugil cephalus*). *Florida Scientist*, 46(3–4), 346–355 [in English].
- Yevtushenko, N.Yu., Dudnyk, S.V., Rudyk-Leuska, N.Ya., & Khuzhniak, M.I. (2021). Factors determining the degree of toxicity of heavy metals to fish (review). *Journal of Hidrobiologia*, 57, 75–85 [in English].
- Zeitoun, M.M., & Mehana, E.S.E. (2014). Impact of heavy metal water pollution on fish health: a review and update. *Global Veterinaria*, 12, 219–231. <https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2014.12.02.82219> [in English].
- Zhang, X., Song, Y., Chen, J., & Huang, J. (2021). Landsat Image-Based Retrieval and Analysis of Spatiotemporal Variation of Total Suspended Solid Concentration in Jiaozhou Bay, China. *Remote Sensing*, 13, 4796. <https://doi.org/10.3390/rs13234796> [in English].
- Zholdasova, I.M., & Guseva, L.N. (1987). Ichthyofauna. The reaction of freshwater systems to man-induced impacts. Tashkent: FAN, 76–108 [in English].

Отримано: 21.10.2025
Прийнято: 17.11.2025
Опубліковано: 30.12.2025

