



УДК 504.4.054

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.31>

ФАКТОРИ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ОРГАНІЗМАХ РИБ

Н. М. Доленчук¹

Представлено характеристику основних властивостей важких металів, форм, джерел їх накопичення та впливу на організми риб. Визначено, що важкі метали мають як позитивний так і негативний (згубний) вплив на гідробіонтів. Останній характеризується погіршенням фізіологічних та біологічних показників життєдіяльності риб. Важкі метали чинять негативний вплив на здоров'я людей що споживають забруднену рибу, викликаючи отруєння, хвороби внутрішніх органів та нервової системи. Тому тема накопичення важких металів організмами риб є актуальною для наукового дослідження.

Показано, що важкі метали мають два джерела надходження у водні екосистеми: природні та антропогенні. Встановлено, що саме антропогенний вплив є масштабнішим та має більшу загрозу у перспективі, адже для сучасного світу є характерним стрімкий розвиток промисловості, енергетики та сільського господарства, які є основними забруднювачами екосистем. Охарактеризовано основні природні фактори впливу на накопичення важких металів організмами риб, серед яких виділено: температурний та водний режими, сезонність, фізико-хімічний склад води та фізико-біологічні особливості риб (вид, вік, харчування). Необхідно зазначити, що кожен з факторів чинить вплив на певний етап процесу накопичення, а найчастіше фактори діють у комплексі.

Відображена проблема підвищення температури води, як одного з головних факторів впливу на накопичення важких металів гідробіонтами. Зі збільшенням температури розчинність багатьох металів, таких як залізо та мідь, може збільшуватися, це пов'язано з підвищенням кінетичної енергії молекул, що сприяє кращому розчиненню металів у воді. Температура впливає на вміст важких металів кількома способами, змінюючи їх розчинність, мобільність, біодоступність та впливаючи на біологічні та хімічні процеси в організмах риб.

Зазначено, що для підтримання здоров'я риб важливо забезпечувати оптимальні концентрації необхідних важких металів, уникаючи їх токсичних рівнів. Це досягається через контроль забруднення водних середовищ, моніторинг рівнів металів у воді та кормах, а також через розуміння екологічних факторів, що впливають на біоаккумуляцію і біомагніфікацію важких металів.

Ключові слова: важкі метали, аквакультура, гідробіонти, риби, водне екосередовище, фактори впливу.

¹ аспірантка

(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)

e-mail: natasha.mosienko21@gmail.com

ORCID: 0009-0009-1941-5007

FACTORS OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN FISH ORGANISMS

N. M. Dolenchuk

The description of the main properties of heavy metals, forms, sources of their accumulation and impact on fish organisms is presented. It was determined that heavy metals have both positive and negative (harmful) effects on hydrobionts. The latter is characterized by the deterioration of the physiological and biological indicators of the vital activity of fish. Heavy metals have a negative impact on the health of people who consume contaminated fish, causing poisoning, diseases of internal organs and the nervous system. Therefore, the topic of accumulation of heavy metals by fish organisms is relevant for scientific research.

It is shown that heavy metals have two sources of entry into aquatic ecosystems: natural and anthropogenic. It was established that it is the anthropogenic impact that is larger and has a greater threat in the future, because the modern world is characterized by the rapid development of industry, energy and agriculture, which are the main polluters of ecosystems. The main natural factors affecting the accumulation of heavy metals by fish organisms are characterized, among which the following are highlighted: temperature and water regimes, seasonality, physical and chemical composition of water and physical and biological characteristics of fish (species, age, nutrition). It should be noted that each of the factors affects a certain stage of the accumulation process, and most often the factors act in combination.

The problem of increasing water temperature is reflected as one of the main factors influencing the accumulation of heavy metals by hydrobionts. With increasing temperature, the solubility of many metals, such as iron and copper, can increase, this is due to an increase in the kinetic energy of molecules, which contributes to a better dissolution of metals in water. Temperature affects the content of heavy metals in several ways, changing their solubility, mobility, bioavailability and influencing biological and chemical processes in fish organisms.

It is noted that in order to maintain fish health, it is important to ensure optimal concentrations of the necessary heavy metals, avoiding their toxic levels. This is achieved through control of aquatic pollution, monitoring of metal levels in water and feed, and understanding of environmental factors affecting bioaccumulation and biomagnification of heavy metals.

Key words: heavy metals, aquaculture, hydrobionts, fish, aquatic environment, influencing factors.

Вступ

Сучасний стан водойм на вміст важких металів викликає серйозне занепокоєння на місцевому, національному та глобальному рівні. Індустріалізація, сільське господарство, міська забудова та інші антропогенні фактори призводять до підвищеного забруднення водойм важкими металами. Такі важкі метали як свинець, ртуть, кадмій, мідь, цинк та інші, можуть мати значний негативний вплив на гідробіонтів (водні організми). Цей вплив може бути різноманітним та стосуватися як фізіологічних, так і поведінкових аспектів їх життя. Надмірний вміст важких металів залишається проблемою, що потребує постійної уваги з боку науки, моніторингу та впровадження ефективних заходів для зниження рівнів забруднення та захисту водних екосистем, що і зумовлює актуальність теми дослідження.

Матеріал і методи

Методи: аналіз, синтез, систематизація наукової інформації, власні лабораторні дослідження. Матеріалом для дослідження були нормативні документи, наукові публі-

кації, статистичні дані, результати власних досліджень, щодо характеристик, вмісту важких металів та їх впливу на аквасередовище.

Результати та їх обговорення

Поточний стан водойм характеризується тим, що такі важкі метали, як свинець, ртуть, кадмій, мідь і цинк, присутні у багатьох водних екосистемах України та світу. Вони надходять до водойм через промислові викиди, сільськогосподарські стоки, побутові відходи та атмосферні опади. Рівень забруднення водойм важкими металами варіюється залежно від регіону. В Україні такими регіонами є Запорізька, Донецька, Луганська, Дніпропетровська області (Vdovenko, 2016). Це зумовлено високою концентрацією промислових підприємств та інтенсивною сільськогосподарською діяльністю. Забруднення водойм важкими металами є характерним і для Житомирської області, адже на її території розташовано 13 промислових підприємств та 22 комунальних підприємства, стічні води яких надходять до річок та водосховищ басейну річки Тетерів (Bordiug, 2014).

У регіоні розвинене сільське господарство, яке теж є джерелом забруднення водою важкими металами. За останні роки кількість скинутих умовно чистих без очищення зворотних вод збільшилася. Комунальне підприємство Житомира неодноразово скидало не очищені стоки з каналізаційної насосної станції (Bordiug, 2014).

Важкі метали, що потрапляють у воду із забруднюючих джерел, негативно впливають на гідробіотів (водних організмів), включаючи рибу, молюсків, ракоподібних та інші види, порушують харчові ланцюги та біорізноманіття водою. Риба може накопичувати важкі метали з навколишнього середовища, найчастіше з промислових викидів (надходять майже всі важкі метали). Середнє значення важких металів у воді річки Тетерів представлено на рис. 1.

У період з 2021 по 2024 роки спостерігається значне перевищення середнього значення, порівняно з ГДК, Заліза (майже в 10 разів) і Свинцю (в 3,5 рази), також Марганцю (в 2,5 рази). Кадмій і Цинк майже в межах норми, мають незначне перевищення (на 0,002 та 0,007 відповідно). У воді Залізо (Fe) найчастіше присутнє у розчиненій формі, або у формі нерозчинної сполуки, наприклад, оксиду або гідроксиду заліза. Ці частинки осідають у вигляді осаду або плавають у зва-

женому стані. У рибі залізо накопичується переважно у вигляді гемового заліза, яке міститься в гемоглобіні риб. Джерелом забруднення вод залізом є вивітрювання гірських порід, викиди хімічної промисловості, яка забруднює воду сульфатами заліза, сільське господарство, через залізовмісні добрива та скидання стічних вод. Свинець (Pb) накопичується у воді та рибі у формі іонів свинцю. Джерелом є автомобільні вихлопи, старі труби. Риби, що мешкають в забруднених водах накопичують свинець у своїх тканинах. Марганець (Mn) накопичується у воді і рибі у розчинній та нерозчинній (оксид марганцю) формах. Джерелом забруднення води є побутові та промислові стічні води, добрива та пестициди, які можуть містити марганець. Кадмій (Cd) накопичується у воді та рибі у формі іонів кадмію. Джерелом є стічні води та добрива, що потрапляють у водойми з сільськогосподарських полів під час танення снігів. Високий рівень накопичення визначається в рибах, що мешкають біля промислових та сільськогосподарських об'єктів. Цинк (Zn) накопичується у формі іонів цинку. Джерелами потрапляння у водойми є промислові викиди, корозія цинкових поверхонь, сільськогосподарські добрива. Широко поширений у різних видах риб, особливо в забруднених водах.



Рис. 1. Середнє значення важких металів у воді річки Тетерів за 2021–2024 рр.
Джерело: власні дослідження.

Важкі метали в рибі можуть мати як негативний, так і, в деяких випадках, позитивний вплив. Хоча більшість важких металів є токсичними навіть у низьких концентраціях, деякі з них у малих кількостях необхідні для нормального функціонування організмів риби. Кожен важкий метал має власну міру біологічної необхідності та токсичності для риби. Гемове залізо є складовим елементом гемоглобіну та міоглобіну риби, але у високій концентрації залізо може бути токсичним для риби, особливо в умовах низького вмісту кисню (анаеробних умовах). Це може призвести до порушень обміну речовин і порушення нормального функціонування організму риби. Марганець (Mn) входить до складу ферментів, що беруть участь у метаболізмі вуглеводів, білків і ліпідів. Він важливий для процесів росту і розвитку, а також для кісткової системи риби. Цинк (Zn) є важливим мікроелементом, необхідним для функціонування понад 300 ферментів, включаючи ті, що відповідають за синтез білків, метаболізм ДНК і РНК, а також антиоксидантні системи. Цинк важливий для зростання, розвитку та імунної функції риби.

Виділяється група важких металів які є високотоксичними і шкідливими для організмів риби: ртуть (Hg) є високотоксичним металом, особливо в органічній формі (метилртуть), яка легко абсорбується та біоакмулюється в організмі риби, викликає неврологічні порушення, репродуктивні проблеми та порушення функцій внутрішніх органів; свинець (Pb) впливає на нервову систему, розвиток скелета і гематологічні показники риби, викликає репродуктивні проблеми та підвищену смертність; кадмій (Cd) може накопичуватися в нирках, печінці та зябрах риби та викликати ниркові та печінкові захворювання, порушення репродуктивної функції та зниження імунітету (Ali, 2022).

Для підтримання здоров'я риби важливо забезпечувати оптимальні концентрації необхідних важких металів, уникаючи їх токсичних рівнів. Це досягається через контроль забруднення водних середовищ, моніторинг рівнів металів у воді та кормах, а також через розуміння екологічних факторів, що впливають на біоаккумуляцію і біомагніфікацію важких металів. Забезпечення балансу між цими двома аспектами є ключовим для підтримання здоров'я водних екосистем та риб'ячих популяцій. Біоаккумуляція – це процес накопичення токсичних речовин в організмах швидше, ніж вони виводяться (Lucas et al., 2016; Dyudyaeva et al., 2020). Важкі метали можуть накопичуватися в тканинах риби протягом усього їхнього життя. Біомагніфікація – це процес підвищення концентрації токсичних речовин по харчовому ланцюгу (Lucas et al., 2016; Dyudyaeva et al., 2020).

Усі фактори, що впливають на рівень накопичення важких металів рибами, можна поділити на природні та антропогенні (рис. 2). До природних факторів відносяться: геологічна будова регіону, гідрологічні та кліматичні умови (Nadtochiy, 2008).

Природні відкладення металів у ґрунтах і породах можуть потрапляти у воду через процеси ерозії, вивітрювання гірських порід та розчинення мінералів. Дощі та сніготанення можуть призводити до змиву важких металів із ґрунтів і їх потрапляння у водойми. Важливим фактором є склад і властивості води, такі як рН, окисно-відновний потенціал, вміст органічних речовин і мікроелементів, що впливають на розчинність і мобільність важких металів у воді (Maksymova, 2020). До природних факторів, що впливають на накопичення металів в організмах риби відносяться фізико-біологічні характеристики: вид, вік, фізіологічні характеристики, харчування та місце про-



Рис. 2. Фактори забруднення важкими металами природного середовища

живання риб. Старіші риби можуть мати вищі концентрації металів через тривалий період накопичення, риби що харчуються в зонах з високим рівнем забруднення накопичують більше металів, особливо в промислово забруднених водах (Lyuta, 2023).

До основних антропогенних факторів відносяться: промислові викиди, сільське господарство, енергетика, транспорт, комунальні стічні забруднення та техногенні аварії. Металургійні, хімічні та інші промислові підприємства часто викидають у воду стічні відходи, що містять важкі метали, а використання у сільському господарстві пестицидів, гербіцидів і добрив, які містять важкі метали, може призводити до їх потрапляння у водойми через стоки з полів, особливо під час танення снігів. Рудники та шахти, а також відвали порід можуть бути джерелами важких металів, що потрапляють у воду через ерозійні процеси. Спалювання викопного палива (вугільні ТЕС) може призводити до виділення важких металів, які потрапляють у атмосферу, а потім у ґрунт та воду через опади. Небезпечними є техногенні витоки і розливи під час транспортування і зберігання металів та їх сполук. Стоки з міських територій, включаючи побутові та дощові стоки, можуть містити важкі метали від автотранспорту, будівництва та інших міських джерел. У кожному регіоні мають свій переважний вплив антропогенні чи природні фактори, однак, зважаючи на стрімкий розвиток промисловості, особливо хімічної, можна стверджувати про посилення саме антропогенного впливу на водні екосистеми.

Важливими факторами вмісту важких металів у воді і гідробіонтах є фактори сезонних змін. До них відносяться: біологічні процеси, стан екосистеми, зміни температури і гідрологічного режиму протягом року, які впливають на концентрації важких металів у воді, а як наслідок і у рибі. Стан і структура водних екосистем, включаючи видове різноманіття і біомасу організмів, можуть впливати на концентрацію і розподіл важких металів у водоймах. Деякі організми (наприклад, бактерії та водорості) можуть впливати на мобільність і трансформацію важких металів у водному середовищі (Ali, 2022).

Одним з вагомих факторів, що впливають на концентрацію важких металів у водних екосистемах є температура води. Вона впливає на вміст важких металів кількома способами, змінюючи їх розчинність,

мобільність, біодоступність та впливаючи на біологічні та хімічні процеси. Зі збільшенням температури розчинність багатьох металів може збільшуватися, це пов'язано з підвищенням кінетичної енергії молекул, що сприяє кращому розчиненню металів у воді (Hnativ, 2023). Температура впливає на швидкість хімічних реакцій, включаючи реакції окиснення та відновлення, які визначають форму та рухливість металів. Вищі температури можуть прискорювати ці реакції, змінюючи концентрацію та хімічний стан металів, також, вища температура може збільшувати метаболічні процеси у водних організмів, що може впливати на пришвидшення поглинання та накопичення металів (Maksymova, 2020). Активність бактерій та інших мікроорганізмів, які беруть участь у біогеохімічних циклах металів, змінюючи їхню мобільність та токсичність також знаходяться під впливом температури, так деякі бактерії можуть окиснювати чи відновлювати метали, змінюючи їхню форму та біодоступність.

Температура впливає на стратифікацію водних мас у водоймах: у теплих умовах поверхневі шари води можуть бути більш насичені киснем і менш насичені металами, тоді як у глибших, холодніших шарах можуть накопичуватися метали через процеси седиментації (Maksymova, 2020). Зміни температури можуть впливати на конвекційні потоки та перемішування води, що впливає на розподіл металів у водоймах, у теплі літні місяці інтенсивне перемішування сприяє рівномірному розподілу металів у водній товщі. Температура впливає на рН та окисно-відновний потенціал (ORP) води, що, в свою чергу, впливає на форму та токсичність металів (Lyuta, 2023). Підвищення температури може змінювати рівні розчиненого кисню, впливаючи на окиснення металів. Сезонні зміни температури впливають на концентрації металів у воді. Взимку нижчі температури можуть сприяти осадженню металів на дно, тоді як влітку підвищена температура може сприяти їх розчиненню та підйому в поверхневі шари води.

Середня концентрація металів у рибі (карасі сріблястому) за літні та зимові періоди 2021–2024 рр. представлена на рис. 3.

За досліджуваний період концентрація заліза, кадмія і цинку в рибі була в межах ГДК. Концентрація свинцю і марганцю перевищувала ГДК в літній період (на 0,18 та 0,22 відповідно). Спостерігається

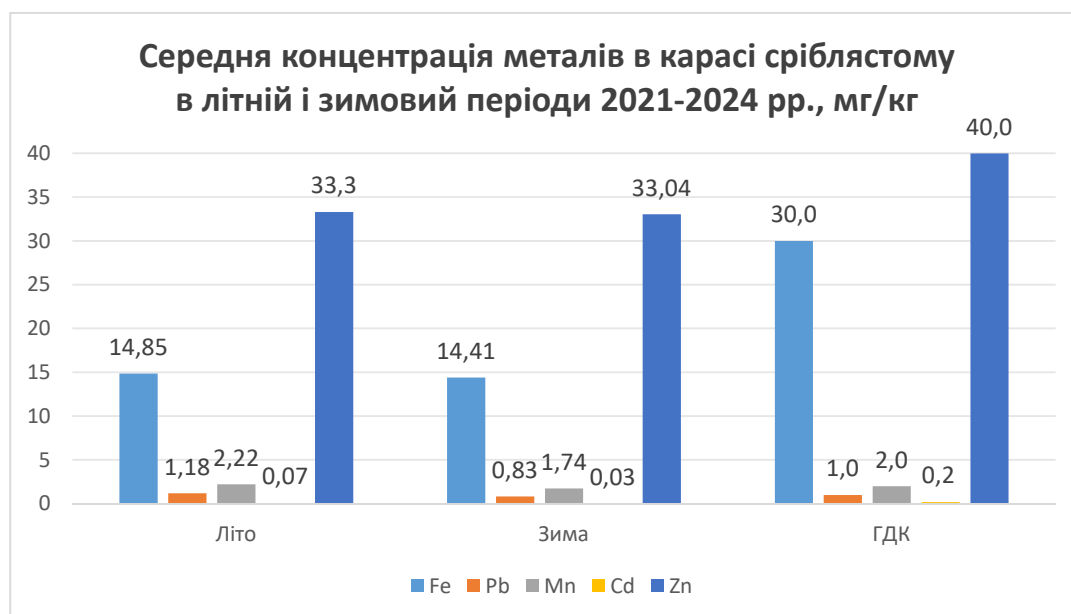


Рис. 3. Середня концентрація металів у рибі (карасі сріблястому) за літні та зимові періоди 2021–2024 рр.

Джерело: власні дослідження.

підвищення концентрації металів в рибі у літній період порівняно з зимовими показниками.

Важливим фактором впливу на концентрацію важких металів у воді є гідрологічний режим, який відіграє важливу роль у визначенні вмісту важких металів у рибі. Він включає в себе аспекти, пов'язані з рухом, об'ємом і станом води у водних екосистемах, такі як течії, рівні води, температурні коливання, сезонні зміни та інше (Ali, 2022). Сезонні зміни рівня води, такі як весняний паводок, або посушливі періоди, суттєво впливають на рівень концентрації забруднення вод важкими металами. Під час паводків рівень води підвищується, що може призводити до змиву забруднювачів, включаючи важкі метали, з берегів та ґрунтів у воду. Це може тимчасово підвищити концентрації металів у водоймі, що впливає на рівень їх накопичення у рибі. Під час посухи зменшення об'єму води може призводити до збільшення концентрації важких металів у воді, що також впливає на їх біодоступність для риб. Рух води (течії та турбулентність) також суттєво впливає на розподіл важких металів у воді. Течії можуть розбавляти концентрації металів або, навпаки, накопичувати їх у певних ділянках водойм. У стоячих водах (озерах, ставках) важкі метали можуть осідати на дно, де вони

можуть бути менш доступними для риб. Однак при певних умовах, таких як зміни в рН або окисно-відновному потенціалі, ці метали можуть знову підніматися у водний стовп і ставати доступними для риб (Nadtochiy, 2008). Температура і рух води впливають і на рівень розчиненого кисню, який, у свою чергу, впливає на метаболічні процеси у риб та їх здатність до накопичення важких металів. Від стану та руху води залежить розвиток фітопланктону та зоопланктону, які можуть поглинати важкі метали, а риби які харчуються планктоном, можуть накопичувати метали через харчовий ланцюг (Lyuta, 2023). Таким чином, температурний та гідрологічний режими мають значний вплив на вміст важких металів у рибі, через зміни у розподілі, біодоступності та метаболізмі металів у водному середовищі.

Для запобігання забруднення вод важкими металами та захисту гідробіонтів від їх згубного впливу, важливо контролювати рівні важких металів у водних екосистемах та впроваджувати заходи з очищення та запобігання забрудненню. Вирішення проблеми забруднення водойм важкими металами потребує міжнародного співробітництва та обміну інформацією між країнами. Міжнародні організації, такі як ООН та ВООЗ, активно працюють над розробкою стратегій та стандартів для захисту водних

ресурсів. Багато європейських країн впроваджують програми моніторингу та регулювання рівнів важких металів у водоймах (Копоненко, 2016). Ці програми включають встановлення гранично допустимих концентрацій важких металів, регулярне тестування води та осадів, а також впровадження очисних технологій. Сучасні технології очищення води дозволяють знизити рівні важких металів у водоймах. Зараз використовуються методи адсорбції, коагуляції, флокуляції, мембранні технології та біоремедіація (використання живих організмів для очищення води) для очищення води. Важливим аспектом у боротьбі з цим явищем є підвищення обізнаності населення про проблему забруднення водойм важкими металами (Poplavskaya, 2020). Освітні програми та кампанії сприяють кращому розумінню та зменшенню негативного впливу. Щодо споживання рибної продукції, важливим є встановлення нормативів допустимих рівнів важких металів у рибній продукції, здійснення контролю за дотриманням цих нормативів. Інформування та рекомендації споживачів щодо вживання риби, зважаючи на можливий вміст важких металів та пропагування споживання видів риби, які менш схильні до накопичення важких металів є дуже дієвим методом впливу на зниження ризиків для здоров'я людини.

Висновки

З'ясовано, що водні екосистеми можуть забруднюватися важкими металами як через природні, так і антропогенні джерела. Антропогенні джерела важких металів значно переважають природні джерела як за обсягом, так і за інтенсивністю викидів. Інтенсивна промислова діяльність, сільське господарство, міська інфраструктура та енергетика значно збільшили вміст важких металів у довкіллі, що підвищує ризики для мешканців водойм і здоров'я людини. Зазначено, що важкі метали у воді безпосередньо впливають на накопичення їх у рибі через різні механізми біоаккумуляції та біомагніфікації. Ці процеси визначають, як метали з водного середовища переходять у рибу і накопичуються у її тканинах. Серед факторів що впливають на процес накопичення виділяють природні (сезонність, водний режим, температура води, хімічний склад води рН, окисно-відновний потенціал, вміст органічних речовин і мікроелементів води, фізіологічні, вікові та біологічні характеристики риби) та антропогенні (рівень промислових викидів, комунальні стічні, сільськогосподарські забруднення та техногенні аварії). Контроль за вмістом важких металів у водних екосистемах є важливим для зменшення їх накопичення у рибі та зниження ризиків для здоров'я людини, яка споживає рибу.

Список використаної літератури

- Алимов І.С., Кононенко Р.В. Інтенсивні технології в аквакультури : навчальний посібник. К. 2011. 280 с.
- Вдовенко Н.М. Глобальні пріоритети сталого виробництва сільськогосподарської продукції. *Innovative solutions in modern science*. 2016. Вип. 4 (4). С. 3–17.
- Кононенко Р.В., Шевченко П.Г., Кондратюк В.М., Кононенко І.С. Інтенсивні технології в аквакультури : навчальний посібник. К. : Центр учбової літератури. 2016. 410 с.
- Люта Н.Г., Саніна І.В. Особливості розподілу вмісту важких металів у донних відкладах у різних природно-антропогенних умовах. *Мінеральні ресурси України*. 2023. Вип. 1. С. 35–38.
- Максимова Н.М., Шевченко І.О. Екологічна оцінка води ріки Самара за категоріями. Дніпро. ДДАЕУ. 2020. С. 53–55.
- Надточій П.П., Мислива Т.М. Екологічна безпека: навч. посіб. Житомир: вид-во «ДАЕУ». 2008. 284 с.
- Ali M.M., Rahman S., Islam M.S., Rakib M.R.J. Hossen S., Rahman M.Z., Kormoker T., Idris A.M., Phoungthong K. Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: *A probabilistic risk assessment*. *International Journal of Sediment Research*. 2022. № 37 (2). P. 173–187.
- Aquaculture: farming aquatic animals and plants / edited by J.S. Lucas, P.C. Southgate*. Blackwell Publishing Ltd. 2016. 648 p.
- Bordiug N.S., Kostytsia L.M. Analysis of the state of the Teteriv River in the Korostyshiv district. *Modern Problems of Balanced Nature Management*. 2014. P. 110–112.
- Hnativ R., Cherniuk V., Khirivskyi P., Kachmar N., Lopotych N., Hnativ I. Processes of Natural Self-Cleaning of Small Watercourses with Increasing Anthropogenic Load in the Dniester River Basin. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. № 24 (2). P. 12–18.

- Keshavarzi B. et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 2018. № 129. P. 245–252.
- Liu Q. et al. Heavy metal concentrations in tissues of marine fish and crab collected from the middle coast of Zhejiang Province, China. *Environ. Monit. Assess.* 2020. № 192. P. 1–12.
- Lyuta N. Regional features of heavy metals distribution in bottom sediments and surface water within river basins in Ukraine. *Geoinformatics 2021*. Kyiv, Ukraine. 2021. P. 11–14.
- Mangalagiri P., Bikkina A., Sundarraj D.K., Tatiparthi B.R. Bioaccumulation of heavy metals in *Rastrelliger kanagurta* along the coastal waters of Visakhapatnam, India. *Mar. Pollut. Bull.* 2020. № 160. 111658.
- Poplavskaya O.S., Gerasimchuk V.V. Opportunities for import substitution of aquaculture products in Ukraine. *Fisheries science of Ukraine*. 2020. № 4 (54). P. 22–37.
- Raj D., Maiti S.K. Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid)s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): An epitomised review. *Environ. Monit. Assess.* 2020. 192. P. 1–20.
- Sattari M., Bibak M., Vajargah M.F., et al. Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowii* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. *J Mat Environ Sci.* 2020. № 11 (7). P. 1129–1140.
- Vajargah M.F., Namin J.I., Mohsenpour R. et al. Histological effects of sublethal concentrations of insecticide Lindane on intestinal tissue of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Vet Res Commun.* 2021. № 45 (4). P. 373–380.
- Vajargah M.F. A review on the effects of heavy metals on aquatic animals. *J Biomed Res Environ Sci.* 2021. № 2 (9). P. 865–869.
- Yang H. et al. An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China. *Environ. Res.* 2020. 192, 110246.

References

- Alymov, I.S., & Kononenko, R.V. (2011). *Intensyvni tekhnologhiji v akvakul'turi: navchalnyj posibnyk* [Intensive technologies in aquaculture: training manual]. Kyiv [in Ukrainian].
- Vdovenko, N.M. (2016). *Ghlobalni priorytety stalogho vyrobnyctva sil's'koghospodars'kohoji produkciji* [Global priorities for sustainable agricultural production]. *Innovative solutions in modern science*, 4 (4), 3–17 [in Ukrainian].
- Kononenko, R.V., Shevchenko, P.H., Kondratiuk, V.M., & Kononenko, I.S. (2016). *Intensyvni tekhnologhiji v akvakul'turi* [Intensive technologies in aquaculture]. Kyiv : Tsentru uchbovoi literatury [in Ukrainian].
- Lyuta N.H., & Sanina I.V. (2023). *Osoblyvosti rozpodilu vmistu vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh u riznykh pryrodnoantropohennykh umovakh* [Features of the distribution of the content of heavy metals in bottom sediments under differennatural and anthropogenic conditions]. *Mineralni resursy Ukrainy* [Mineral resources of Ukraine], 1, 35–38 [in Ukrainian].
- Maksymova, N.M., & Shevchenko, I.O. (2020). *Ekolohichna otsinka vody richky Samara za katehoriiami* [Ecological assessment of Samara river water by categories]. Dnipro. DDAEU (in Ukrainian), 53–55 [in Ukrainian].
- Nadtochiiy, P.P. & Myslyva, T.M. (2008). *Ekolohichna bezpeka* [Ecological safety]. Zhytomyr [in Ukrainian].
- Ali, M.M., Rahman, S., Islam, M.S., Rakib, M.R.J., Hossen, S., Rahman, M.Z., Kormoker, T., Idris, A.M., & Phoungthong, K. (2022). Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: A probabilistic risk assessment. *International Journal of Sediment Research*, 37 (2), 173–187 [in English].
- Lucas, J.S., & Southgate, P.C. (2016). *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*. Blackwell Publishing Ltd [in English].
- Bordiug, N.S., & Kostrytsia, L.M. (2014). Analysis of the state of the Teteriv River in the Korostyshiv district. *Modern Problems of Balanced Nature Management*. P. 110–112 [in English].
- Hnativ, R., Cherniuk, V., Khirivskiy, P., Kachmar, N., Lopotych, N., & Hnativ, I. (2023). Processes of Natural Self-Cleaning of Small Watercourses with Increasing Anthropogenic Load in the Dniester River Basin. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (2), 12–18 [in English].
- Keshavarzi, B., et al. (2018). Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 129, 245–252 [in English].
- Liu, Q., et al. (2020). Heavy metal concentrations in tissues of marine fish and crab collected from the middle coast of Zhejiang Province, China. *Environ. Monit. Assess.* 192, 1–12 [in English].

- Lyuta, N. (2021). Regional features of heavy metals distribution in bottom sediments and surface water within river basins in Ukraine. *Geoinformatics*. P. 11–14 [in Ukrainian].
- Mangalagiri, P., Bikkina, A., Sundarraj, D.K., & Tatiparthi, B.R. (2020). Bioaccumulation of heavy metals in *Rastrelliger kanagurta* along the coastal waters of Visakhapatnam, India. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111658 [in English].
- Poplavskaya, O.S., & Gerasimchuk, V.V. (2020). Opportunities for import substitution of aquaculture products in Ukraine. *Fisheries science of Ukraine*, 4 (54), 22–37 [in English].
- Raj, D., & Maiti, S.K. (2020). Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid) s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): An epitomised review. *Environ. Monit. Assess.* 192, 1–20 [in English].
- Sattari, M., Bibak, M., & Vajargah, M.F., et al. (2020). Trace and major elements in muscle and liver tissues of *Alosa braschnikowy* from the South Caspian Sea and potential human health risk assessment. *J Mat Environ Sci.* 11(7), 1129–1140 [in English].
- Vajargah, M.F., Namin, J.I., & Mohsenpour, R., et al. (2021). Histological effects of sublethal concentrations of insecticide Lindane on intestinal tissue of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Vet Res Commun*, 45 (4), 373–380 [in English].
- Vajargah, M.F. (2021). A review on the effects of heavy metals on aquatic animals. *J Biomed Res Environ Sci*, 2 (9), 865–869 [in English].
- Yang, H., et al. (2020). An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China. *Environ. Res.* 192, 110246 [in English].

Отримано: 19.07.2024

Прийнято: 02.09.2024