

## БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ТА ТОКСИЧНІСТЬ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ДЛЯ БІОТИ ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ (ОГЛЯД)

**І. І. Грициняк**, [info@ifr.com.ua](mailto:info@ifr.com.ua), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**Н. Л. Колесник**, [kolesnik\\_natalia@mail.ru](mailto:kolesnik_natalia@mail.ru), Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

**Мета.** Дослідити джерела наукової інформації щодо біологічних функцій важких металів (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd) та їх негативного впливу на біоту прісноводних водойм.

**Результати.** Огляд праць багатьох вчених показав, що більшість досліджуваних нами важких металів (Fe, Zn, Mn, Cu та Co) відіграють важливу роль у здійсненні життєвих функцій прісноводних гідробіонтів. Важливість інших досліджуваних важких металів (Ni, Pb та Cd) в даному контексті вірогідна або невідома. Крім біологічного значення, відомо і про токсичність важких металів — групи найбільш поширених і небезпечних для біоти мінеральних забруднюючих речовин. За їх негативною дією спостерігається різке погіршення умов існування більшості видів гідробіонтів, деякі види зникають, інші зменшують свою чисельність, випадають ланки трофічних ланцюгів, порушуються зв'язки в екосистемах, знижується продуктивність біоценозів.

**Практична значимість.** Масив узагальненої інформації буде корисним для науковців, що досліджують екосистеми прісноводних водойм та вплив на них токсикантів, зокрема важких металів.

**Ключові слова:** важкі метали, біологічне значення, токсичність, прісноводні гідробіонти.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

Протягом доволі тривалого часу існувало тверде переконання, що серед важких металів важливі біологічні функції виконують тільки натрій, калій, манган, ферум та кальцій, які в цілому складають майже до 99 % всіх атомів металу в організмі і (крім феруму) відносяться до групи макроелементів. Цікавість до функцій перехідних елементів, які (у тому числі і ферум) належать до важких металів (ВМ) і містяться в організмі у невеликій кількості, виникла порівняно недавно [1].

Будова електронних оболонок атомів важких металів зумовлює їх високу реакційну здатність, схильність до комплексоутворення і, як наслідок, високу біохімічну і фізіологічну активність [2]. Важливість ВМ у здійсненні життєвих функцій організму щодо багатьох елементів вже доведено (ферум, манган, цинк, купрум, кобальт), щодо інших (нікол, ванадій, олово, миш'як, кремній) вірогідна, а деяких (плумбум, кадмій) – поки що недостатньо вивчена.

Метою даної роботи було дослідження масиву інформації щодо біологічних функцій важких металів (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd) та їх негативного впливу на біоту прісноводних водойм.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ. ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

ВМ, як і раніше, залишаються однією з пріоритетних груп забруднюючих речовин, що мають як локальне і регіональне, так і глобальне поширення. Надходження ВМ у водне середовище пов'язане з природними та антропогенними джерелами [3].



Токсичність ВМ залежить від концентрації, тривалості дії, температури, насиченості води киснем та багатьох інших чинників. Особливості токсичної дії ВМ полягають в універсальності їх впливу на живі організми як загальноплазматичних отрут і здатності до утворення комплексів з компонентами клітин, білків, амінокислот та інших радикалів [4].

В даний час також загальновідомо, що токсичність ВМ у природному водному середовищі залежить не від їх загальної концентрації, а від форм, яких вони набувають [5]. Надходячи у водойму, ВМ можуть перебувати у водному середовищі в іонній формі, у вигляді комплексів з органічними і неорганічними сполуками. Найбільшу токсичність для водних організмів мають вільні (гідратовані) іони металів та їх гідрокомплекси, що утворюють так звану лабільну фракцію. До неї ще часто відносять й слабостійкі комплекси металів з природними органічними лігандами [6].

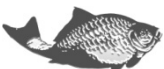
Значення ВМ для гідробіонтів неоднозначне. Більшість з них (Cu, Zn, Ni, Co та інші) є необхідними мікроелементами для здійснення нормальної життєдіяльності. Однак при підвищеній концентрації ці ж метали можуть інгібувати ферментативні процеси і чинити на них багатопланову негативну дію перешкоджаючи нормальному обміну речовин. На відміну від забруднюючих речовин органічного походження, більша частина яких з плином часу піддається деструкції, важкі метали зберігають біологічну активність досить довго. Тому небезпека багатьох ВМ полягає не тільки в їх високій токсичності, а й у здатності акумулюватися у живих організмах і мігрувати харчовими шляхами [7].

Досить добре відомо про здатність важких металів справляти мутагенну і тератогенну дію на водні організми. Проте оцінити все різноманіття процесів і порушень, що виникають під впливом важких металів і визначають життєздатність як окремої особини, так і популяції в цілому, складно [8].

Первинне сприйняття хімічних подразників, у тому числі і важких металів, здійснюється хеморецепторами – спеціалізованими клітинами, в яких відбувається перетворення енергії стимулу подразника в сигнали, які переносять інформацію про діючого агента нервовим центрам. У процесі еволюції хеморецептори набули особливої чутливості до сприйняття окремих властивостей речовин, що дозволяє тваринам тонко аналізувати і своєчасно реагувати на хімічні зміни в середовищі існування. Порушення поведінкових реакцій є зазвичай найбільш явним показником токсичності, що свідчить про негативні наслідки впливу полютантів. Навіть малопомітні при візуальному спостереженні, але статистично достовірні зміни поведінки передують багатьом іншим аномаліям і можуть виявитися вирішальними для подальшого існування популяції гідробіонтів [4].

Високу токсичність мають металоорганічні сполуки, так звані продукти метилування, властиві таким металам як Pb, Zn та Cu. Металоорганічні сполуки розчиняються у ліпідах, тому легко проникають через клітинну мембрану в організми гідробіонтів [9].

Найбільш токсичні для організму важкі метали у вільній йонній формі, але на даний час виявлено, що менш агресивними для гідробіонтів є їх комплексні сполуки з органічними речовинами з низькою і середньою молекулярною масою. Токсичність полівалентних металів залежить від ступеня їх окислення у водному середовищі. Найчастіше метали з більш високим ступенем окислення більш



токсичні за інших [10]. Прояв токсичних властивостей металів змінюється в залежності від чинників середовища існування, стадій онтогенезу тварин і таксономічного положення водних організмів [11]. Водні тварини є унікальною природною моделлю для дослідження механізмів порушень гомеостазу, що були викликані токсичним агентом. Тобто, зміни протікання субклітинних процесів, що виникають в момент втручання в них ВМ, під час ембріогенезу швидко візуалізуються і можуть бути зареєстровані морфометрично (наприклад, зміна швидкості росту, зупинка розвитку на певній стадії, різноманітні фенотипові мутації) [12].

В сучасних умовах прісноводна біота, зокрема в ставах рибних господарств, знаходиться під постійним токсикологічним пресом. Зазвичай у воді водойм відмічається суттєве перевищення рибогосподарських гранично допустимих концентрацій міді, цинку, свинцю, кобальту та інших важких металів.

Акумуляуючись у фіто- та зоопланктоні, зообентосі, детриті, вищій водній рослинності, ВМ трофічними ланцюгами, а також безпосередньо з води, надходять в організми риб, накопичуючись у значній кількості в органах і тканинах. Надмірна кількість ВМ у природній кормовій базі та накопичення їх у організмі риб здатна інгібувати ферментативні процеси, змінювати інтенсивність та спрямованість обміну речовин, суттєво впливати на біоенергетичні процеси, функціонування репродуктивної системи гідробіонтів та інше [13]. Риба, ослаблена токсичною дією, втрачає імунітет, менш стійка до паразитарних, грибкових, бактеріальних та вірусних захворювань. Тому разом з токсикологічною загрозою підвищується і можливість біологічних захворювань і змішаних патологій (токсикопаразитозів, токсикоінфекцій і т. п.).

Розглянемо біологічну роль та токсичність деяких важких металів, а також симптоми та патологоморфологічні зміни в організмі риб, викликані їх надлишком.

### Ферум (Fe)

Біологічне значення. Тварини й рослини здатні активно акумулювати ферум з навколишнього середовища у зв'язку з його високою біологічною активністю. Наприклад, гемоглобін — складний залізовмісний білок еритроцитів, здатний зворотно зв'язуватися з киснем, забезпечуючи його перенесення до тканин, містить 0,34 – 0,48 % феруму у вигляді гему [14]. Гемоглобін міститься майже у 50 % всіх видів тварин. Він виявлений у деяких рослин, найпростіших, в крові та лімфі багатьох безхребетних (черви, моллюки, голкошкірі, членистоногі) і практично у всіх хребетних. Резервний ферум, депонований у печінці і селезінці, у вигляді складних комплексів служить вихідним матеріалом для синтезу. Цей процес нормально протікає за наявності певних кількостей феруму, купруму і кобальту. Міоглобін м'язів риб відіграє роль короткочасного резерву (депо) кисню і, крім того, впливає на швидкість проникнення кисню в клітини, будучи внутрішньоклітинним каталізатором. Вважається, що обмін феруму регулюється гіпоталамусом, який впливає на зниження вмісту сироваткового феруму. У риб в обміні феруму між середовищем існування та організмом велику роль відіграють зябра, плавці та шкіра [15].

Токсичність феруму зумовлена механічним пошкодженням і асфіксією риб та ікри в результаті осадження пластівців гідроокису феруму або зниженням у воді кисню, споживаного на окиснення закисного феруму. У кислому середовищі йони



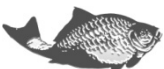
феруму проникають в тканини і діють самостійно як токсини. Про величину токсичних концентрацій феруму для риб є суперечливі дані. Це пов'язано з тим, що його токсичність багато в чому залежить від гідрохімічного режиму, особливо від рН, твердості та деяких інших показників. Для риб більш токсичні сірчаноокислий і двохлористий ферум, ніж його оксид і хлорний ферум. За результатами досліджень вчених, гостре отруєння коропа, карася та ляща відбувається за концентрації хлориду і сульфату феруму 4,3 – 6,4 мг/дм<sup>3</sup>. За рН води 5 – 6,7 токсичні концентрації феруму для лосося, форелі, щуки, плітки і коропа знижуються до 1,0 – 2 мг/дм<sup>3</sup>. Загибель ікри байкальського окуня відзначено за концентрації феруму 0,52 мг/дм<sup>3</sup> в результаті осідання на її оболонці оксиду феруму. За даними, наведеними у фаховій літературі, смертельний вміст феруму для коропів знаходиться на рівні 15 мг/дм<sup>3</sup> і вище.

Симптоми і патоморфологічні зміни. За тривалого впливу низьких концентрацій феруму знижується резистентність риб, в першу чергу до сапролегніозу. За гострого отруєння сполуками феруму зябра, шкіра риб, а також оболонка загиблої ікри покриваються бурим нальотом. У зябрах, крім того, відмічається розпад епітелію і його десквамація [16].

### Цинк (Zn)

Біологічне значення. Аналізуючи результати досліджень фізіологічної ролі цинку, необхідно відзначити поліфункціональність цього елемента. Наприклад, у клітинах *Euglena gracilis*, позбавлених цинку, спостерігається деградація рибосом аж до повного зникнення. Таким чином, можна говорити про роль даного елемента в надмолекулярній організації внутрішньоклітинних комплексів. За нестачі цинку знижується інтенсивність фотосинтезу, що пов'язано з входженням цього металу до складу дегідрогенази фосфоргліцеринового альдегіду і, таким чином, участю його у відновних перетвореннях продуктів фотосинтезу [17]. Доведено позитивний вплив цинку на активність статевих і гонадотропних гормонів гіпофізу риб. Локалізація цинку в складі ферментів гліколізу і дихання дає можливість зрозуміти його роль в гліколітичному та дихальному циклах. За низького рівня вмісту цинку у довкіллі активність цих ферментів різко знижується, що веде до кисневого голодування гідробіонтів та інших порушень обміну речовин [4]. Цинк гонадотропного екстракту гіпофіза, поряд з іншими мікроелементами, активує фермент, що зв'язує СО<sub>2</sub>, і тим самим підвищує синтез білків, жирів і вуглеводів. Цинк причетний до формування та функціонування внутрішньоклітинних мембран [18]. На користь цього свідчать результати про участь мікроелемента в регуляції транспорту йонів у клітинній мембрані, підвищенні за цинкового дефіциту концентрацій ряду елементів – купруму, мангану, феруму, бору, молібдену, а також збільшення ненасичених жирних кислот в процесі ембріогенезу коропа під впливом біотичних доз цинку.

Токсичність. Токсичність для зоопланктону настає за концентрації 0,08 мг Zn/дм<sup>3</sup> і вище. Для молоді ракоподібних (мізид), 96 год. ЛК<sub>50</sub> цинку становила 0,5 мг/л за температури 21°C [19]. При вивченні токсикорезистентності *Daphnia magna* Straus медіанні летальні концентрації цинку в 72 год. дослідах за температури 30 °C склали 0,005 мг/л для самок і 0,014 мг/л для молоді [20, 21]. Цинк накопичується в слизі, зябрах, нирках, скелеті і шлунково-кишковому тракті, набагато менше – в печінці, селезінці і м'язах. Сульфат цинку викликає гостре отруєння, вже через 5 днів, у коропів за концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup>. Гостротоксичні концентрації йонів цинку складають для молоді форелі 0,4, а для



молоді коропа і колюшки  $0,5 \text{ мг Zn/дм}^3$ . Хронічне отруєння молоді форелі настає через 26 діб за концентрації  $0,01 \text{ мг Zn/дм}^3$ . Той же ефект у коропів сульфат цинку викликав за концентрації  $0,1 - 0,3 \text{ мг/дм}^3$  через 60 – 80 діб.

Симптоми і патоморфологічні зміни. Під час гострого отруєння відзначають потемніння забарвлення тіла, набряк зябрових пелюсток, гіперплазію та злущування респіраторного епітелію [22].

### Манган (Mn)

Біологічне значення. Вивченню фізіологічної ролі мангану в організмах рослин і теплокровних тварин присвячено багато робіт. В теперішній час вважається, що цей елемент пов'язаний з ферментами, гормонами і вітамінами [1]. Манган активує пептидази сироватки крові, декарбоксилази піровиноградної і  $\alpha$ -кетоглутарової кислот, фосфоглюкомутази, промідази та ін. Манган виступає в ролі окиснювача низки біологічних систем і в анаеробних умовах діє як водневий акцептор, впливає на вуглеводний обмін і взаємодіє з інсуліном та адреналіном, а також активує дихання рослин. А. Пірсон (1962) наводить результати про вплив мангану на фотосинтез водоростей у автотрофних, гетеротрофних і міксотрофних умовах [23]. Дослідження показали, що манган пов'язаний з обміном ліпідів як у рослин, так і у тварин. Слід наголосити, що манган, поряд з кальцієм, сприяє вибірково до поглинання йонів основних елементів мінерального живлення рослин. Беручи участь в біологічному каталізі і стимулюючи білковий, вуглеводний і жировий обміни, манган значно впливає на ріст, розмноження і кровотворення теплокровних тварин і риб, відіграє важливу роль в процесі закріплення. Обмін мангану в організмі знаходиться під контролем нервової та ендокринної систем [1].

Токсичність. Сполуки мангану менш токсичні для риб, ніж інших ВМ. Токсична дія мангану схожа з ферумом. Тільки вплив  $\text{KMnO}_4$ , що є сильним окиснювачем, відрізняється від дії йонів мангану. Летальна концентрація перманганату калію за експозиції 24 год. становить для окуневих риб  $6 \text{ мг/дм}^3$ , а токсичні межі його знаходяться від 1 до  $3 \text{ мг/дм}^3$ . Ракоподібні (дафнії і циклопи) гинуть за концентрації  $1 \text{ мг/дм}^3 \text{ KMnO}_4$ . За результатами джерел фахової наукової літератури, токсичні концентрації хлористого мангану (за експозиції 7 днів): для однорічок коропа –  $600 \text{ мг/дм}^3$ , струмкової форелі – 100, райдужної форелі – 75, ліна –  $1200 \text{ мг/дм}^3$  [24].

Симптоми і патоморфологічні зміни. Гостре отруєння солями мангану характеризується зміною поведінки риб, світлим забарвленням тулуба, зменшенням чутливості до подразників, атаксією. Шкіра і зябра риб, які загинули від отруєння перманганатом калію, набувають буро-коричневого забарвлення [25]. За хронічного отруєння сполуки мангану діють як протоплазматичні отрути, викликаючи важкі зміни в нервовій системі, нирках та органах кровообігу [26].

### Купрум (Cu)

Біологічне значення. Купрум присутній у всіх організмах і належить до числа мікроелементів, необхідних для їх нормального розвитку. Крім того, цей елемент має велике значення в фенольному, азотистому, нуклеїновому та ауксиновому обміні [17]. Основна роль купруму у тканинах рослин і тварин – участь у ферментативному каталізі. Купрум необхідний для здійснення різних функцій організму – дихання, кровотворення (стимулює засвоєння феруму і синтез гемоглобіну), обміну вуглеводів і мінеральних речовин. Велике значення має



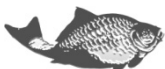
купрум в підвищенні імунобіологічної стійкості та опірності організму до шкідливих впливів чинників зовнішнього середовища і у процесах росту та розвитку організму. Зокрема, у риб в нерестовий період вміст купруму у печінці – депо цього елемента – знижується, а в статевих органах підвищується. Крім того, купрум бере участь в процесах пігментації, впливаючи на утворення меланіну і забарвлення риб. Нестача купруму призводить до погіршення роботи серця, мозку, печінки, сприяє розвитку катаракти і як уже згадувалося, до пригнічення росту. Крім цього, купрум є антагоністом вітаміну А і прискорює процес його окислення.

**Токсичність.** Відомо, що різні систематичні групи водоростей неоднаково реагують на одні й ті ж дози купруму. Найбільш чутливі до його дії синьозелені водорості, а найбільш стійкі зелені водорості. Для припинення росту синьозелених і діатомових водоростей досить мікрограмових кількостей міді. Токсичність купруму зростає при зниженні твердості води, температури та вмісту кисню. У присутності хелатів, гумінових кислот, завислих речовин і при підвищенні твердості концентрації купруму знижуються у 1 – 1,5 рази. Відзначено синергізм в комбінації купруму з цинком та кадмієм. Для гідробіонтів більш токсичні добре розчинні у воді хлориди, нітрати і сульфати купруму [22]. Вплив надлишку купруму проявляється особливо сильно за нестачі в кормі природних антиоксидантів (вітамінів С, Е). У цьому випадку купрум підсилює пероксидне окислення докозапентаєнової та докозагексаєнової кислот, що призводить до патологічних змін в клітинних мембранах і порушення функцій тканин, наприклад, клітин печінки і крові. В останньому випадку відбувається гемоліз еритроцитів [27]. Порушення ембріонального розвитку райдужної форелі настає за концентрацій 0,02 – 0,04 мг  $\text{Cu}/\text{дм}^3$  у м'якій воді і 0,08 мг  $\text{Cu}/\text{дм}^3$  у твердій, а коропа – за концентрацій вищих 0,5 мг  $\text{Cu}/\text{дм}^3$  у м'якій воді. У рибництві як альгїцид використовують сульфат купруму. Концентрація сульфату купруму 0,14 мг/ $\text{дм}^3$  не викликає загибелі форелі, 0,33 мг/ $\text{дм}^3$  – нешкідлива для коропа, але обидві ці концентрації близькі до порогових. Ікра форелі гине за концентрації 0,5 мг/ $\text{дм}^3$ . Окуні гинуть за 0,25 мг/ $\text{дм}^3$  через 24 – 40 годин, а за 2 мг/ $\text{дм}^3$  – через 1,5 – 5 годин. Гуппі гинуть за 0,1 мг/ $\text{дм}^3$  купруму через 16 годин. Дуже чутливі до сполук купруму сивові – гинуть при 0,1 мг/ $\text{дм}^3$  [28].

**Симптоми і патоморфологічні зміни.** При гострому отруєнні риби збуджені, дуже активні, тіло їх покривається коагульованим слизом блакитного кольору. У зябрах і шкірі спостерігається гіперемія, дистрофія, некробіоз і десквамація покривного епітелію, в печінці та нирках – зерниста дистрофія і деструкція еритроцитів. Під час хронічного впливу сульфату купруму кількість слизу зменшена, шкірні покриви бліді і жорсткі, порушена цілісність плавців, риба виснажена [22].

### Нікол (Ni)

**Біологічне значення.** Нікол належить до мікроелементів, необхідних для нормального розвитку живих організмів. Він – необхідний мікроелемент для рослин. Концентрують нікол і мікроорганізми – вони містять його в тисячі і навіть сотні тисяч разів більше, ніж навколишнє середовище [29]. Підвищений порівняно з іншими типами водоростей вміст ніколу виявлено в синьозелених водоростях. Відомо, що нікол бере участь у ферментативних реакціях в тварин і рослин. Низькі його концентрації стимулюють активність гідрогеназ та уреаз. Нікол слугує активатором декарбоксілази тваринних тканин, що каталізує обмін



деяких амінокислот. Багато дегідрогеназ містять нікол, наприклад, азотфіксуючих мікроорганізмів – *Azotobacter latys*, *Azotobacter vinelandii*, *Rhizobium japonicum*. Сполуки ніколу відіграють важливу роль у кровотворних процесах, будучи каталізаторами.

**Токсичність.** За деякими результатами вчених, нікол має канцерогенну та мутагенну дію. Швидкість накопичення елемента водоростями різних таксономічних груп істотно різниться. Зокрема, він інтенсивно накопичується одноклітинними водоростями, надаючи їм токсичної дії [17]. Так, хлорид ніколу токсичний для *Scenedesmus sp.* за концентрації 1,5 мг/дм<sup>3</sup>, а сульфат – за концентрації 0,9 мг/дм<sup>3</sup>. Особлива небезпека ніколу для водоростей і найпростіших полягає в тому, що він майже не виводиться з організму протягом довгого часу, міцно зв'язуючись з внутрішніми структурами клітин. Порушення біо- і фотосинтетичних процесів фітопланктону відмічене за концентрації ніколу 50 мкг/дм<sup>3</sup> в прісноводних форм. Токсичний вплив ніколу на рослини проявляється у інгібуванні процесів фотосинтезу і транспірації, появи ознак хлорозу листя. Нікол у стічних промислових водах присутній найчастіше у вигляді сульфату ніколу. Однорічки форелі гинуть в розчинах сульфату ніколу за концентрації 770 мг/дм<sup>3</sup> (290 мг/дм<sup>3</sup> Ni) через 65 – 75 хвилин. Однорічки коропа за концентрації ніколу 100 мг/дм<sup>3</sup> гинуть через 23 години, а за 45 мг/дм<sup>3</sup> – через 7 днів. Для дафній нікол токсичний за концентрації 5,5 мг/дм<sup>3</sup>. Хронічний вплив ніколу на організм гідробіонтів може призвести до несприятливих біологічних наслідків (затримка росту, раптова смертність, аномалії розвитку) [25]. Його підвищений вміст у навколишньому середовищі має специфічну дію на серцево-судинну систему. Нікол належить до числа канцерогенних елементів. Він здатний викликати респіраторні захворювання. Вважається, що вільні йони ніколу (Ni<sup>2+</sup>) приблизно в 2 рази більш токсичні, ніж його комплексні сполуки [30].

**Симптоми і патоморфологічні зміни.** Під час отруєння ніколом зябра у риб покриваються слизом і набувають темного забарвлення [20].

### Кобальт (Co)

**Біологічне значення.** Кобальт є життєво необхідним мікроелементом для всіх гідробіонтів; він постійно присутній в тканинах рослин і тварин. Кобальт бере участь у ферментативних процесах фіксації атмосферного азоту бульбочкових бактерій. Важливою стороною фізіологічної ролі кобальту для рослин є його участь у фіксації молекулярного азоту. Деякі вищі рослини здатні накопичувати кобальт. Під його впливом у рослин збільшується кількість хлорофілу, каротиноїдів, загального гематину і вітаміну Е. Отже, сполуки кобальту обов'язково входять до складу мікродобрив. Входячи у молекулу вітаміну В<sub>12</sub> (кобаламін), кобальт бере участь у важливих процесах організму тварин: кровотворенні, функціях нервової системи і печінки, ферментативних реакціях [14]. Дефіцит кобальту в організмі риб гальмує синтез гемоглобіну, наслідком чого може бути анемія і зниження загальної резистентності організму, підвищення смертності та уповільнення росту. Тому цей елемент у вигляді CoSO<sub>4</sub> безпосередньо вводять в комбікорми. Зокрема, вміст кобальту в комбікормах для форелі в кількості 1,2 мг/кг стимулює ріст риби. Також відмічено підвищення резистентності організму у коропа за вмісту кобальту 1 – 3 мг/кг корму. У той же час надлишок кобальту викликає патологічні зміни в крові, а також призводить до уповільнення росту риб [31].



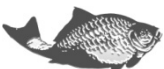
**Токсичність.** Шкідливий вплив кобальту за високих концентрацій пов'язують головним чином з тим, що надмірне надходження його в організм супроводжується станом гіпоксії або «відчуттям» клітиною нестачі кисню. У відповідь на введення в організм надлишкової кількості хлориду кобальту розвивається важкий гіпоксичний стан організму в цілому, інтоксикація та виражений нейродефіцит. Кобальт може сприяти розвитку пухлин [13], тому він внесений до переліку канцерогенних агентів IARC (Агентства з дослідження раку Міжнародної організації охорони здоров'я). В той же час його комплексні сполуки надають протипухлинну дію. Кобальт також має генотоксичну дію, він індукуює окиснювальний стрес, апоптоз і, нарешті, імітує в клітині стан гіпоксії, що потім призводить до активації апоптозу, гліколізу, ангиогенезу і еритропоезу. Надлишок кобальту пригнічує гемопоез. Летальними концентраціями кобальту в 7-денних дослідах для однорічок риб є: для коропа – 90 мг/л Co (150 мг/л хлориду кобальту), струмкової і райдужної форелі відповідно 40 і 30 мг/л Co (45 і 35 мг/л  $\text{CoCl}_2$ ) [31].

**Симптоми і патоморфологічні зміни.** Гострі отруєння риб кобальтом проявляються спочатку різким збудженням, збільшенням частоти дихання, порушенням координації рухів. Потім настає стадія пригнічення, дихання сповільнюється і риби гинуть від задухи. При цьому шкіра і зябра часто вкриваються білуватим шаром коагульованого слизу. За хронічного перебігу інтоксикації симптоми отруєння з'являються пізніше, вони пов'язані з тяжкими порушеннями функцій нервової системи: переривчастий рух, судомні скорочення плавців, загальна млявість та виснаження риб. Під час патоморфологічного дослідження встановлюють дистрофічні і некробіотичні зміни в зябрах, печінці, нирках, селезінці, гонадах [32].

### Кадмій (Cd)

**Біологічне значення.** Фізіологічна роль кадмію вивчена недостатньо, адже, незважаючи на те, що його солі є високотоксичними він є необхідним для організму гідробіонтів. Кадмій може виводитись з організму за допомогою метал-тіонеїнів – групи низькомолекулярних цитоплазматичних протеїнів з антиоксидантним потенціалом, для яких характерний високий вміст сульфгідрильних груп [33]. *In vitro* кадмій активує кілька цинк-залежних ферментів: триптофан оксигенази, даллкудегідратази, карбоксипептидазу. Однак ферментів, які б активувалися тільки кадмієм, не виявлено [34]. Кадмій не належить до елементів життєво необхідних організму. Проте, можна стверджувати, що низькі його концентрації (25 – 100 мкг/дм<sup>3</sup>) можуть стимулювати поділ клітин. Значна частина кадмію може мігрувати в складі клітин гідробіонтів.

**Токсичність.** Кадмій так само, як і низка інших елементів (Zn, Cu, Pb), активно акумулюється одноклітинними водоростями, найпростішими та макрофітами. Міра негативної дії кадмію визначається в основному видовим складом фітопланктону і його фотосинтетичною активністю. Під час розвитку синьозелених водоростей із збільшенням продукції фітопланктону зростає негативна дія кадмію [17]. В той же час, вона слабшає в період розвитку зелених і діатомових водоростей. Дослідження впливу кадмію на фітопланктон, на прикладі водорості *Anabaena sp.* показало, що він включається в цитоплазму і клітинні поліфосфатні тільця, викликає втрату Mg і Ca, внаслідок чого змінюється їх іонна структура. Також виявлено, що кадмій пригнічує поглинання фосфору





рослинами. В той же час поглинання кадмію зменшується із збільшенням вмісту селену або алюмінію, калію, кальцію та фосфору. Солі кадмію є високотоксичними для риб, зокрема токсичною концентрацією кадмію в 7-денних дослідах є, мг/дм<sup>3</sup>: для коропа – 13; линів – 15; струмкової форелі — 3. У фундулюса під впливом води з вмістом Cd 28 мг/дм<sup>3</sup> спостерігався некроз і злущення слизистого шару дихального епітелію зябрових ниток та пластин, що призводило до зменшення поглинання кисню і зростання частоти дихання у хронічно уражених риб. Дія кадмію на риб в цілому знижує їх здатність до осмотичної регуляції. За хронічної дії відбувається ослаблення ензиматичної активності печінки та нирок [35]. Це, у свою чергу затримує, швидкість дозрівання і продукцію тестостерону та кетотестостерону.

Симптоми і патоморфологічні зміни. Кадмій має місцево-подразнювальну і резорбтивну дію. Під час гострого отруєння хлористим кадмієм виявляють гіперплазію і розпад респіраторного епітелію зябер, епідермісу шкіри, некробіоз кишечника і проксимальних каналців нирок, гемопоетичної тканини. Хронічна інтоксикація характеризується уповільненням росту, некробіотичними змінами в зябрах, нирках, печінці, гемопоетичній тканині, утворенням доброякісних пухлин в нирках і деформаціями хребта [20].

### Плюмбум (Pb)

Біологічне значення. Вплив плюмбуму на життєдіяльність гідробіонтів вивчено недостатньо. У невеликих кількостях він необхідний фітопланктону та вищим рослинам [36]. Відомо, що він бере участь в обмінних процесах кісткової тканини. З іншого боку, плюмбум є канцерогеном і тератогеном для організму [37]. З літератури відомі дані, які підтверджують, що він є життєво необхідним, оскільки впливає на синтез білка, енергетичний баланс клітини і її генетичний апарат. Тому на сьогодні плюмбум відносять до ймовірно-есенціальних елементів [38].

Токсичність. Токсичність плюмбуму трохи нижча, ніж кадмію. Його відносять до однієї з найнебезпечніших забруднюючих речовин, оскільки він має тривалий характер дії. Плюмбум, судячи за різними біологічними показниками, є сильним інгібітором клітинного метаболізму і може збільшувати токсичність інших металів [17]. Він сприяє зменшенню швидкості поділу клітин за найнижчої концентрації. При вивченні дії солей плюмбуму на мітохондрії рослин виявлено інгібування транспорту електронів, особливо за відсутності фосфору. Показано, що концентрації плюмбуму в інтервалі 100 – 300 мкг/дм<sup>3</sup> впливали на інтенсивність фотосинтезу, швидкість ділення водоростей. Досліджено, що плюмбум пригнічує розмноження синьозелених водоростей, знижує вміст хлорофілу, пригнічує фіксацію молекулярного азоту і трансформує ультраструктуру клітин. У експериментах деяких вчених концентрація плюмбуму 500 мкг/дм<sup>3</sup> була токсичною для клітин харових водоростей. Для риб він є безумовно токсичним, вже за концентрації 0,1 – 0,4 мг/ дм<sup>3</sup> у них спостерігаються симптоми отруєння. Плюмбум здатний утворювати в організмі гідробіонтів стійкі депо, переважно в печінці та кістках (80 – 90 %). Замінюючи кальцій в кістках він є постійним джерелом хронічного отруєння риб. Утворення комплексів «ензим – плюмбум» призводить до блокади іонних каналів і порушення механізмів активного транспорту іонів. Під його впливом в крові риб виявлено зниження оксигемоглобіну, збільшення дезокси- і метгемоглобіну, активацію процесів перекисного окислення ліпідів [39]. Плюмбум діє локально на зябра, викликає



повільне дозрівання еритроblastів. Хронічна дія сублетальних концентрацій плумбуму на рибу призводить в кінцевому результаті до зміни структур специфічних тканин. Концентрація плумбуму  $7,7 \text{ мг/дм}^3$  токсична для форелі через 2 години; хоча  $1 \text{ мг/дм}^3$  за 2-денної експозиції для неї виявилася нетоксичною. Нітрат плумбуму справляє згубну дію на рибу за концентрації  $0,1 - 0,16 \text{ мг/дм}^3$ , на бактерії –  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ , на дафній –  $5,0 \text{ мг/дм}^3$ ; хлорид плумбуму – на рибу за концентрації  $0,33 - 1,0 \text{ мг/дм}^3$ , на найпростіші організми –  $0,01 - 0,5 \text{ мг/дм}^3$ , на дафній –  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ; сульфат плумбуму – на рибу в концентрації  $25,0 \text{ мг/дм}^3$ , на найпростіші організми –  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ; ацетат плумбуму – на рибу в концентрації  $0,4 - 2,8 \text{ мг/дм}^3$  [36].

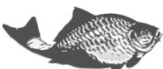
Симптоми і патоморфологічні зміни. Прояв плумбумного токсикозу проявляється в потемнінні шкіри, лордозі, сколіозі, треморі та омертвінні сенсорних та підтримуючих бокових ліній риби [22].

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Таким чином, з наведеного огляду випливає, що важкі метали, які мають високу біохімічну і фізіологічну активність, можуть не тільки позитивно впливати на розвиток рослинних та тваринних організмів, але й, маючи властивість накопичуватися до високих концентрацій, можуть викликати при цьому порушення обмінних процесів і повне пригнічення життєво важливих функцій прісноводної біоти. Разом з тим, біологічна роль таких важких металів як Ni, Pb та Cd наразі вивчена ще недостатньо та має бути досліджена.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / Войнар А. И. — М. : Высшая школа, 1960. — 544 с.
2. Светашева Е. С. Накопление тяжелых металлов и нормирование их содержания в водных экосистемах / Е. С. Светашева // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : 3 Всерос. конф. по вод. токсикологии, 11-16 нояб. 2008 г. : мат. Ч. 3. — Борок : Яросл. печат. двор, 2008. — С. 121—123.
3. Адамова А. А. Естественное содержание некоторых микроэлементов в рыбах Баренцова моря / А. А. Адамова, А. Г. Босин // Гигиена и санитария. — 1949. — № 11. — С. 34—38.
4. Флеров Б. А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных / Флеров Б. А. — Л. : Наука, 1989. — 138 с.
5. Моисеева Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Моисеева Т. И. — М. : Наука, 2006. — 216 с.
6. Rozan T. F. Geochemical factors controlling free Cu ion concentrations in river water / T. F. Rozan, G. Benoit // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1999. — Vol. 63, № 19/20. — P. 311—319.
7. Нахшина Е. П. Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения» водоемов / Е. П. Нахшина // Гидробиологический журнал. — 1985. — Т. 21, № 2. — С. 80—90.
8. Будников Г. К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем / Г. К. Будников // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 5 — С. 23—29.
9. Линник П. Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. — Л. : Гидрометиздат, 1986. — 270 с.



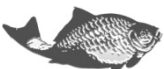
10. Линник П. Н. Сосуществующие формы тяжелых металлов в поверхностных водах Украины и роль органических веществ в их миграции / П. Н. Линник, Т. А. Васильчук // *Методы и объекты химического анализа*. — 2008. — Т. 2, № 2. — С. 130—145.
11. Фисенко О. Ф. Загрязнение металлами / О. Ф. Фисенко, В. Г. Хоботьев // *Общая экология, биоценология, гидробиология*. — 1986. — Вып. 3. — С. 110—145.
12. Мелехова О. П. Оценка эмбриотоксичности водной среды / О. П. Мелехова // *Известия РАН*. — 1994. — № 4. — С. 661—665. — (Серия биологическая).
13. Колесник Н. Л. Важкі метали в екосистемі ставів та їх вплив на рибопродуктивність і харчову цінність риби в умовах інтенсивного вирощування : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.02.03 / Колесник Наталія Леонідівна. — К., 2012. — 191 с.
14. Воробьев В. И. Биогеохимия и рыбоводство / Воробьев В. И. — Саратов : МП Литера, 1993. — 224 с.
15. Ленинджер А. Основы биохимии : в 3-х т. Т. 3. [Пер. с англ. А. Ленинджер]. — М. : Мир, 1985. — Т. 3. — 1985. — 320 с.
16. Верболович П. А. Железо в животном организме / П. А. Верболович, А. В. Утешев. — Алма-Ата : Наука, 1967. — 266 с.
17. Страйер Л. Биохимия / Страйер Л. — М. : Мир, 1984. — 532 с.
18. Уильямс Д. Металлы жизни / Уильямс Д. — М. : Мир, 1975. — 236 с.
19. The use of life-tables for evaluating the chronic toxicity of pollutants to mysidopsisbahia / G. H. Gentile, S. M. Gentile, H. G. Hairston [и др.] // *Hydrobiologia*. — 1982. — Vol. 93, № 1—2. — P. 179—188.
20. Брагинский Л. П. Острая токсичность тяжелых металлов для водных беспозвоночных при различных температурных условиях / Л. П. Брагинский, Э. П. Щербань // *Гидробиол. журн.* — 1978. — Т. 14, № 1. — С. 86—97.
21. Брагинский Л. П. Пресноводный планктон в токсичной среде / Брагинский Л. П., Величко И. М., Щербань Э. П. — К. : Наук. думка, 1987. — 179 с.
22. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах / Дж. Мур, С. Рамамурти. — М. : Мир, 1987. — 286 с.
23. Пирсон А. В. Марганец и его роль в фотосинтезе / А. В. Пирсон // *Микроэлементы*. — М. : Из-во ИЛ, 1962. — С. 114—137.
24. Быкова А. В. Влияние загрязнения водоемов солями некоторых тяжелых металлов на водные организмы / Быкова А. В. — М., 1976. — Серия 8, Вып. 3. — С. 7.
25. Трахтенберг И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: гигиенические и экологические аспекты / Трахтенберг И. М., Колесников В. С., Луковенко В. П. — Минск : Навука и Тэхніка, 1995. — 286 с.
26. Энциклопедии, словари, справочники. Отравления рыб. Марганец. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.cnsnb.ru/AKDil/0033a/base/k0090007.shtm>.
27. Информационный портал Рыбоводство. Болезни рыб, вызываемые дефицитом или избытком минеральных веществ [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://pisciculture.ru/action/disease?id=514>.
28. Зигель Х. Некоторые особенности токсичности металлов / Х. Зигель, А. Зигель. — М. : Мир, 1993. — 368 с.
29. Болгова И. В. Общая биология. Олово. [Электронный ресурс] / Болгова И. В., Шапошникова И. А., Фандо Р. А. — Режим доступа : <http://bio.1september.ru/article.php?ID=200801206>.
30. Справочник по гидрохимии. Тяжелые металлы. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/mon5.html>.



31. Информационный портал Рыбоводство. Болезни рыб «Незаразные». [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://pisciculture.ru/action/disease?id=34>.
32. Грищенко Л. И. Токсикозы рыб — ядовитые вещества сточных вод и их действие на организм рыб / Л. И. Грищенко, М. Ш. Акбаев, Г. В. Васильков // Болезни рыб и основы рыбоводства. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://prostuda.biz/book/589-bolezni-ryb-i-osnovy-rybovodstva/25-glava-20-toksikozy-ryb-yadovitye-veshhestva-stochnyx-vod-i-ix-dejstvie-na-organizm-ryb.html>
33. Функції металотіонеїнів та системи антиоксидантного захисту за дії Co- та Zn-вмісних нанокompatитів на карася сріблястого (*Carassius auratus gibelio*). [Електронний ресурс] / Г. І. Фальфушинська, Л. Л. Гнатишина, О. О. Турта [та ін.] // Український біохімічний журнал. — 2012. — № 3 — С. 52-66. — Режим доступу : <http://www.biochemistry.org.ua/index.php/uk/ukrainian-biochemical-journalua/journal-archive/2013/-3-/1677-functions-of-metallothioneins-and-a-system-of-antioxidant-defense-under-the-effect-of-co-and-zn-containing-nanocomposites-on-crucian-carp-carassius-auratus-gibelio-hi-falfushynska-ll-gnatyshyna-oo-turta-ob-stoliar-ne-mitina-.html>.
34. Электронная медицина. Биологическая роль токсических микроэлементов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.elm.su/zhizn-i-periodicheskaya-sistema/199-biologicheskaya-rol-toksicheskikh-mikroelementov.html>.
35. Никаноров А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. — СПб. : Гидрометеоздат, 1991. — 312 с.
36. Болгова И. В. Общая биология. Висмут. [Электронный ресурс] / Болгова И. В., Шапошникова И. А., Фандо Р. А. — Режим доступа : <http://bio.1september.ru/article.php?ID=200801106>.
37. Электронная медицина. Свинец. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.elm.su/svinets.html>.
38. Коновалова О. Ю. Увлекательно о фармакогнозии. Свинец (Плюмбум) (Pb). Кроветворный поллютант. [Электронный ресурс] / Коновалова О. Ю. — Режим доступа : <http://www.pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesas/svinets-krovetvornyj-pollutant>.
39. Черкесова Д. У. Сравнительное изучение показателей окислительно-антиоксидантной системы в мышечной ткани русского осетра (*Acipenser Gueldenstaedti* Brant) и карпа (*Cyprinus Carpio* L.) при воздействии свинца. [Электронный ресурс] / Д. У. Черкесова, А. И. Рабаданова, Г. Р. Мурадова // Успехи современного естествознания. — 2012. — № 12. — С. 50—52. — Режим доступа : [http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10000410](http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=10000410).

## REFERENCES

1. Voynar, A. I. (1960). *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka*. Moskva: Vysshaya shkola.
2. Svetasheva, E. S. (2008). Nakoplenie tyazhelykh metallov i normirovanie ikh soderzhaniya v vodnykh ekosistemakh. *Antropogennoe vliyanie na vodnye organizmy i ekosistemy : 3 Vseros. konf. po vod. toksikologii (11-16 nov. 2008)*. Borok, 3, 121-123.
3. Adamova, A. A., & Bosin, A. G. (1949). Estestvennoe soderzhanie nekotorykh mikroelementov v rybkakh Barentsova morya. *Gigiena i sanitariya*, 11, 34-38.
4. Flerov, B. A. (1989). *Ekologo-fiziologicheskie aspekty toksikologii presnovodnykh zhivotnykh*. Leningrad: Nauka.
5. Moiseeva, T. I. (2006). *Rasseyannye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi: Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya*. Moskva: Nauka.



6. Rozan, T. F., & Benoit, G. (1999). Geochemical factors controlling free Cu ion concentrations in river water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63 (19/20), 311-319.
7. Nakhshina, E. P. (1985). Tyazhelye metally v sisteme «voda – donnye otlozheniya» vodoemov. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 21 (2), 80-90.
8. Budnikov, G. K. (1998). Tyazhelye metally v ekologicheskome monitoringe vodnykh sistem. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 5, 23-29.
9. Linnik, P. N., & Nabivanets, B. I. (1986). *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh*. Leningrad: Gidrometizdat.
10. Linnik, P. N., & Vasil'chuk, T. A. (2008). Sosushchestvuyushchie formy tyazhelykh metallov v poverkhnostnykh vodakh Ukrainy i rol' organicheskikh veshchestv v ikh migratsii. *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza*, 2 (2), 130-145.
11. Fisenko, O. F., & Khobot'ev, V. G. (1986). Zagryaznenie metallami. *Obshchaya ekologiya, biotsenologiya, gidrobiologiya*, 3, 110-145.
12. Melekhova, O. P. (1994). Otsenka embriotoksichnosti vodnoy sredy. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 4, 661-665.
13. Kolesnyk, N. L. (2012). Vazhki metaly v ekosystemi staviv ta yikh vplyv na ryboproduktyvnist i kharchovu tsinnist ryby v umovakh intensyvnoho vyroshchuvannia. *Doctor's thesis*. Kyiv.
14. Vorob'ev, V. I. (1993). *Biogeokhimiya i rybovodstvo*. Saratov: MP Litera.
15. Lenindzher, A. (1985). *Osnovy biokhimmii: V 3-kh 3. (Per. s angl.)*. Moskva: Mir.
16. Verbolovich, P. A., & Uteshev, A. B. (1967). *Zhelezo v zhyvotnom organizme*. Alma-Ata: Nauka.
17. Strayer, L. (1984). *Biokhimiya*. Moskva: Mir.
18. Uil'yams, D. (1975). *Metally zhizni*. Moskva: Mir.
19. Gentile, G. H., Gentile, S. M., Hairston, H. G., & Sullivan, B. G. (1982). The use of life-tables for evaluating the chronic toxicity of pollutants to mysidopsis-bahia. *Hydrobiologia*, 93 (1-2), 179-188.
20. Braginskiy, L. P., & Shcherban', E. P. (1978). Ostraya toksichnost' tyazhelykh metallov dlya vodnykh bespozvonochnykh pri razlichnykh temperaturnykh usloviyakh. *Gidrobiol. zhurn.*, 14 (1), 86-97.
21. Braginskiy, L. P., Velichko, I. M., & Shcherban, E. P. (1987). *Presnovodnyy plankton v toksicheskoy srede*. Kiev: Nauk. dumka.
22. Mur Dzh., & Ramamurti, S. (1987). *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh*. Moskva: Mir.
23. Pirson, A. V. (1962). Marganets i ego rol' v fotosinteze. *Mikroelementy*. 114-137.
24. Bykova, A. B. (1976). Vliyanie zagryazneniya vodoemov solyami nekotorykh tyazhelykh metallov na vodnye organizmy, 8 (3), 7.
25. Trakhtenberg, I. M., Kolesnikov, B. C., & Lukovenko, V. P. (1995). *Tyazhelye metally vo vneshney srede: gigenicheskie i ekologicheskie aspekty*. Minsk: Navuka i Tekhnika.
26. Entsiklopedii, slovari, spravochniki. Otravleniya ryb. Marganets. (n.d.). [www.cnsnb.ru](http://www.cnsnb.ru). Retrieved from <http://www.cnsnb.ru/AKDIL/0033a/base/k0090007.shtm>.
27. Informatsionnyy portal «Rybovodstvo». (n.d.). Bolezni ryb, vyzyvaemye defitsitom ili izbytkom mineral'nykh veshchestv. [pisciculture.ru](http://pisciculture.ru). Retrieved from <http://pisciculture.ru/action/disease?id=514>.
28. Zigel', X., & Zigel', A. (1993). *Nekotorye osobennosti toksichnosti metallov*. Moskva: Mir.
29. Bolgova, I. V., Shaposhnikova, I. A., & Fando, R. A. (n.d.). Obshchaya biologiya. Olovo. [bio.1september.ru](http://bio.1september.ru). Retrieved from <http://bio.1september.ru/article.php?ID=200801206>.
30. Tyazhelye metally (n.d.). [biology.krc.karelia.ru](http://biology.krc.karelia.ru). Retrieved from <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/mon5.html>.
31. Informatsionnyy portal «Rybovodstvo». (n.d.). Bolezni ryb «Nezaraznye». [pisciculture.ru](http://pisciculture.ru). Retrieved from <http://pisciculture.ru/action/disease?id=34>.



32. Grishchenko, L. I., Akbaev, M. Sh., & Vasil'kov, G. V. (1999). Bolezni ryb i osnovy rybovodstva. Toksikozy ryb yadovitye veshchestva stochnykh vod i ikh deystvie na organizm ryb. *prostuda.biz*. Retrieved from <http://prostuda.biz/book/589-bolezni-ryb-i-osnovy-rybovodstva/25-glava-20-toksikozy-ryb-yadovitye-veshchestva-stochnykh-vod-i-ix-dejstvie-na-organizm-ryb.html>.
33. Falfushynska, H. I., Hnatyshyna, L. L., Turta, O. O., Stoliar, O. B., Mitina, N. Ye., Zaichenko, O. S., & Stoika, R. S. (2013). Funktsii metalotioneiniv ta systemy antyoksydantnoho zakhystu za dii Co- ta Zn-vmisnykh nanokompozytiv na karasia sribliastoho (*Carassius auratus gibelio*). *Ukrainskyi biokhimichnyi zhurnal*, 3, 52-61. Retrieved from <http://biochemistry.org.ua/index.php/uk/ukrainian-biochemical-journalua/journal-archive/2013/-3-/1677-functions-of-metallothioneins-and-a-system-of-antioxidant-defense-under-the-effect-of-co-and-zn-containing-nanocomposites-on-crucian-carp-carassius-auratus-gibelio-hi-falfushynska-ll-gnatyshyna-oo-turta-ob-stoliar-ne-mitina.html>
34. Elektronnaya meditsina. (n.d.). Biologicheskaya rol' toksicheskikh mikroelementov. *www.elm.su*. Retrieved from <http://www.elm.su/zhizn-i-periodicheskaya-sistema/199-biologicheskaya-rol-toksicheskikh-mikroelementov.html>
35. Nikanorov, A. M., & Zhulidov, A. V. (1991). *Biomonitoring tyazhelykh metallov v presnovodnykh ekosistemakh*. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat.
36. Bolgova, I. V., Shaposhnikova, A., & Fando, R. A. (n.d.). Obshchaya biologiya. Vismut. *bio.1september.ru*. Retrieved from <http://bio.1september.ru/article.php?ID=200801106>
37. Elektronnaya meditsina. (n.d.). Svinets. *elm.su*. Retrieved from <http://www.elm.su/svinets.html>
38. Konovalova, O. Yu. (n.d.). Uvlekatel'no o farmakognozii. Svinets (Plyumbum) (Pb). Krovetvornyy pollyutant. *pharmacognosy.com.ua*. Retrieved from <http://www.pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesasvinets-krovetvornyj-pollutant>
39. Cherkesova, D. U., Rabadanova, A. I., & Muradova, G. R. (2012). Sravnitel'noe izuchenie pokazateley okislitel'no-antioksidantnoy sistemy v myshechnoy tkani russkogo osetra (*Acipenser Gueldenstaedti Brant*) i karpa (*Cyprinus Carpio L.*) pri vozdeystvii svintsya. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 12, 50-52. Retrieved from [http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10000410](http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=10000410)

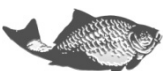
### БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ТОКСИЧНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ БИОТЫ ПРЭСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ (ОБЗОР)

**И. И. Грициняк**, [info@ifr.com.ua](mailto:info@ifr.com.ua), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев

**Н. Л. Колесник**, [kolesnik\\_natalia@mail.ru](mailto:kolesnik_natalia@mail.ru), Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев

**Цель.** Исследовать источники научной информации относительно биологических функций тяжелых металлов (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd) и их негативного влияния на биоту пресноводных водоемов.

**Результаты.** Обзор работ многих ученых показал, что большинство исследуемых нами тяжелых металлов (Fe, Zn, Mn, Cu и Co) играет важную роль в осуществлении жизненных функций организмов пресноводных гидробионтов. Важность других исследуемых тяжелых металлов (Ni, Pb и Cd) – вероятно или неизвестна. Кроме биологического значения нам известно и о токсичности тяжелых металлов – группы наиболее распространенных и опасных для биоты минеральных загрязняющих веществ. После их негативного воздействия наблюдается резкое ухудшение условий существования большинства видов гидробионтов,



некоторые виды исчезают, другие уменьшают свою численность, выпадают звенья трофических цепей, нарушаются связи в экосистемах, падает продуктивность биоценозов.

**Практическая значимость.** Массив обобщенной информации будет полезным для ученых, исследующих экосистемы пресноводных водоемов и влияние на них токсикантов, в частности тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, биологическое значение, токсичность, рыба, пресноводные гидробионты.

## BIOLOGICAL IMPORTANCE AND TOXICITY OF HEAVY METALS FOR BIOTA OF FRESHWATER BODIES (REVIEW)

**I. Hrytsyniak**, [info@ifr.com.ua](mailto:info@ifr.com.ua), Institute of Fisheries of NAAS, Kyiv

**N. Kolesnyk**, [kolesnik\\_natalia@mail.ru](mailto:kolesnik_natalia@mail.ru), Institute of Fisheries of NAAS, Kyiv

**Purpose.** To investigate the sources of scientific information on biological functions of heavy metals (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd) and their negative effect on biota of fresh water bodies.

**Findings.** A review of works of a variety of scientists showed that the majority of the studied heavy metals (Fe, Zn, Mn, Cu and Co) played an important role in vital functions of freshwater organisms. The significance of other studied heavy metals (Ni, Pb, and Cd) is probable or unknown. Besides biological importance, we also know about toxicity of heavy metals – a group of mineral polluting substances, which are the most distributed and dangerous for biota. Their negative effect includes drastic deterioration of conditions for existence of the majority of aquatic organisms, some species disappear, others reduce their number, components of trophic chains are lost, links in ecosystems become broken, and productivity of biocenoses decreases.

**Practical value.** An array of generalized information will be useful for scientists who investigate freshwater ecosystems and effect of toxicants on them, in particular heavy metals.

**Key words:** heavy metals, biological role, toxicity, freshwater aquatic organisms.

