

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ ТВАРИН

УДК 546.732:(597.551.2+597.552.1):612.11

Н.О. ВОВЧЕК, аспірант,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: natvovchek@ukr.net
ORCID 0000-0002-2292-3477

В.С. МАРКІВ, аспірант,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: vitya.marktwen@gmail.com
ORCID 0000-0003-1294-7827

В.О. ХОМЕНЧУК, к. б. н, доц.,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua
ORCID 0000-0003-0500-6754

В.З. КУРАНТ, д. б. н, проф.,
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: kurant@tnpu.edu.ua
ORCID 0000-0002-3349-046X

ФРАКЦІЙНИЙ СКЛАД БІЛКІВ СИРОВАТКИ КРОВІ ПРІСНОВОДНИХ РИБ ЗА ДІЇ ІОНІВ КОБАЛЬТУ

Досліджено фракційний склад сироватки крові карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch.) та щуки звичайної (*Esox lucius* L.) за дії 2 та 5 гранично допустимих концентрацій (ГДК) кобальту, що в перерахунку на іони становить 0,1 та 0,25 мг/дм³. Підвищені концентрації іонів кобальту призводять до зміни як сумарної концентрації білків сироватки крові, так і їх фракційного складу. За дії 0,1 та 0,25 мг/дм³ іонів кобальту загальний вміст білків у сироватці крові карася зростав відповідно на 18,9 та 24,8 %, тоді як у щуки цей показник достовірно знижувався на 15,8 % лише за впливу 0,25 мг/дм³ іонів металу.

У сироватці крові карася підвищені концентрації кобальту не призводили до достовірних змін кількості альбуміну та γ -глобулінів, тоді як дія 0,1 мг/дм³ іонів кобальту викликала зменшення кількості α_1 - і α_2 -глобулінів та збільшення кількості β -глобулінів. У сироватці крові щуки було відмічено достовірне зростання кількості альбуміну і α_2 -глобулінів та зменшення вмісту β - і γ -глобулінів за дії 0,1 мг/дм³ іонів металу. Вплив 0,25 мг/дм³ іонів кобальту викликав зростання вмісту β -глобулінів та зниження вмісту γ -глобулінів у сироватці крові щуки. Достовірне зростання альбумін-глобулінового коефіцієнту було відмічено лише у сироватці крові щуки за дії

Ц и т у в а н н я: Вовчек Н.О., Марків В.С., Хоменчук В.О., Курант В.З. Фракційний склад білків сироватки крові прісноводних риб за дії іонів кобальту. *Гідробіол. журн.* 2025. Т. 61, № 1. С. 90—100.

0,1 мг/дм³ іонів Co²⁺. Подальші дослідження адаптивних реакцій системи крові прісноводних риб є перспективними як для оцінки здоров'я їхнього організму, так і для біомоніторингу гідроекосистем за інтоксикації кобальтом.

Ключові слова: карась сріблястий, щука звичайна, білки сироватки крові, кобальт.

Широке використання металів та їх сполук у промисловості та сільському господарстві сприяє їхньому надмірному надходженню у природні води. Важкі метали, як есенціальні (незамінні), так і неесенціальні (токсичні), становлять значну небезпеку для навколишнього середовища та водної біоти через їх високу токсичність, здатність до акумуляування та біомагніфікації [15, 21, 35].

Специфіка поведінки важких металів у гідроекосистемах обумовлена тим, що вони не піддаються деструкції, як органічні речовини, а постійно знаходяться у воді та донних відкладах у тій чи іншій формі [30, 33, 39]. Функціонально сполуки металів відіграють важливу роль у життєдіяльності всіх організмів, включно з гідробіонтами. Входячи до складу багатьох органічних речовин, або вступаючи з ними у взаємодію, вони впливають на перебіг багатьох біохімічних процесів у живому організмі. Такий вплив може бути стимулюючим, пригнічуючим або нейтральним, залежно від природи металу, його концентрації та форми існування у воді. Біологічна функція металів здійснюється при досить низьких їх концентраціях. Присутність металів у кількостях, що перевищують необхідний рівень в організмі, стає причиною порушення нормального перебігу процесів життєдіяльності [3, 14].

Біодоступність і поглинання важких металів залежать від багатьох чинників, таких як концентрація важких металів, період їхнього впливу, взаємодія з іншими металами, вік і розмір риби, механізми детоксикації, метаболічні процеси в організмі риб, харчова поведінка, фізико-хімічні параметри навколишнього середовища тощо [16].

Особливий інтерес становлять важкі метали, які застосовуються у різних галузях виробничої діяльності людини і є важливими для життєдіяльності гідробіонтів. Саме до таких металів відноситься кобальт. Він є незамінним компонентом вітаміну B₁₂, бере активну участь у процесах кровотворення та перенесення кисню гемоглобіном, а також іншими пігментами крові [11]. Кобальт активує також процес синтезу білків, сприяє їх накопиченню в органах і тканинах риб. Введення в кормові суміші риб солей кобальту сприяло збільшенню біомаси дволіток коропів [1]. Цей метал також впливає на обмін та біологічну дію кальцію і фосфору. Так, недостатнє надходження в організм риб солей кобальту веде до неповного засвоєння цих хімічних елементів [6]. Однак підвищений рівень кобальту у водному середовищі може викликати низку токсичних ефектів у риб [19, 31].

Риби дуже чутливі до будь-яких змін навколишнього середовища, що робить їх придатними біоіндикаторами для моніторингу водних екосистем, оскільки вони легко метаболізують, детоксикують і накопичують

важкі метали в організмі [8]. Молекулярні, біохімічні та фізіологічні показники риб можуть бути використані як біологічні маркери токсичності металів та слугувати для оцінки забруднення водного середовища важкими металами [35].

Кров є лабільною поліфункціональною системою, яка швидко реагує на зміну чинників навколишнього середовища. Показники крові риб є важливими інструментами біомоніторингу для оцінки токсичності важких металів [17, 36]. Саме тому метою нашого дослідження було вивчення впливу підвищених концентрацій іонів кобальту на фракційний склад білків сироватки крові прісноводних риб — карася та щуки.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом дослідження був карась сріблястий (*Carassius gibelio* Bloch.) і щука звичайна (*Esox lucius* L.) середньою масою відповідно 200—220 г та 150—170 г. Вивчали вплив кобальту у 2 та 5 рибогосподарських гранично допустимих концентраціях, що в перерахунку на іони становить 0,1 та 0,25 мг/дм³. Ці концентрації є такими, що переважно використовуються під час досліджень водних інтоксикацій і зумовлюють формування в організмі риб адаптивної реакції на стрес-чинник [9, 32].

Метал вносили у воду 200-літрових акваріумів, де знаходилися дослідні групи риб (по п'ять особин у кожному), у вигляді $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. З метою зниження впливу на риб їхніх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодобово. Для досягнення стану розвитку і максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до металу аклімацію риб здійснювали протягом 14 діб. Цей період є достатнім для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин [20, 32].

Після зазначеного терміну із серця риб відбирали кров для аналізу. Для цього голкою робили прокол тіла на рівні передніх плавців. Про пряме попадання голки в серце риб свідчило інтенсивне витікання крові, яке супроводжувалося поштовхами. Для одержання сироватки кров, після її зсідання, центрифугували 20 хв при 3000 об/хв. Досліди виконували відповідно до правил європейської конвенції про гуманне ставлення до лабораторних тварин та «Загальних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики [5].

Для дослідження білкових фракцій сироватки крові риб використовували прилад для електрофорезу FORESCAN 001 (Китай). Після завершення електрофорезу пластинки витримували 15 хв у фіксажі (розчин етанолу та оцтової кислоти), висушували і занурювали на 10 хв у розчин барвника на основі амідно-чорного. Після знебарвлення у трьох послідовних ваннах пластинки промивали дистильованою водою та висушували у потоці повітря при температурі 80 °С. Розшифрування фореграм проводили на денситометрі цієї ж фірми. Загальний вміст білків у тканинах досліджуваних видів риб визначали за методом Лоурі та співавт. [29]. Всі одержанні результати піддавали статистичному аналізу з використанням пакету Microsoft Office Excel.

Результати досліджень та їх обговорення

Білки сироватки крові є досить лабільною хімічною системою, яка відображає стан організму, а також ті зміни, які в ньому відбуваються під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників [23]. Незважаючи на високий ступінь рухливості білків сироватки крові, їх вміст знаходиться на певному рівні, характерному для даного виду риб [27]. Фореграми, отримані при електрофорезі білків сироватки крові різних видів, відрізняються кількістю білка у фракціях, а також кількістю самих фракцій та їх розташуванням [13, 34]. Показано залежність вмісту загального білка та фракційного складу білків сироватки крові риб від сезону, фізіологічного стану організму [2] та віку [12].

Аналіз отриманих результатів показав, що за дії іонів кобальту показник сумарного вмісту білків у сироватці крові карася зростає. За дії металу в кількості 0,1 мг/дм³ він збільшується на 18,9 %, а при 0,25 мг/дм³ — на 24,8 %. На думку автора [3], за дії металу відбувається порушення іонного балансу та концентрації білків сироватки крові риб, що у сукупності викликає зміни осмотичного тиску. Згущення внаслідок цього крові, ймовірно, є однією з основних причин відхилення досліджуваного показника від контрольних величин. У щуки, навпаки, внаслідок дії іонів кобальту спостерігали незначне зниження досліджуваного показника (при 0,1 мг/дм³ на 6,1 %, а при 0,25 мг/дм³ металу — на 15,8 %). Можливо, відмінності в реакції організму карася і щуки пов'язані з особливостями їхнього метаболізму та способу життя, тому що карась є бентофагом, а щука — хижаком.

У низці досліджень показано, що підвищені концентрації іонів металів можуть суттєво впливати як на загальний вміст білків у сироватці крові риб, так і на їх фракційний склад [17, 22, 24]. Отримані дані свідчать про зміну фракційного складу білків сироватки крові досліджуваних видів риб за дії іонів кобальту. Фореграми білків сироватки крові як карася, так і щуки, містять п'ять чітких основних фракцій, що узгоджується з даними інших авторів [3]. Для аналізу отриманих результатів використано номенклатуру Тізеліуса, згідно якої виділено альбумін, α_1 -, α_2 -, β - та γ -глобуліни (табл. 2).

Таблиця 1

Вміст загального білка в сироватці крові досліджуваних видів риб за дії іонів кобальту

Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
Карась		
28,53±1,77	33,93±1,35*	35,60±1,30*
Щука		
29,30±1,15	27,50±2,10	24,67±1,55*

Примітка. Тут і в табл. 2, 3: $M \pm m$, $n = 5$. * Різниця вірогідна порівняно з контролем ($p < 0,05$).

На альбумін в організмі досліджуваних видів риб припадає від 10% у карася до 11,5% у щуки. Альбумін відіграє суттєву роль у підтриманні колоїдно-осмотичного тиску крові, а також служить для організму важливим джерелом амінокислот. Крім того, з альбуміном пов'язують транспорт цілої низки як низько-, так і високомолекулярних речовин, амінокислот, жирних кислот, вітамінів, гормонів, а також катіонів і токсинів [7, 10].

За дії на організм карася підвищених концентрацій кобальту вміст альбуміну в сироватці його крові майже не змінюється у присутності 0,1 мг/дм³ металу і дещо знижується (на 6,7 %) за наявності 0,25 мг/дм³ іонів кобальту у воді. Зменшення кількості альбумінів пов'язують не стільки з посиленням їх катаболізму, як зі зниженням їх синтезу. Це відбувається тоді, коли блокуються шляхи синтезу цих білків, або коли необхідні субстрати використовуються на інші потреби організму — пластичні чи енергетичні [25]. У дослідженні авторів [17] було відмічено зменшення кількості альбуміну в сироватці крові коропа на початкових етапах інтоксикації свинцем.

У сироватці крові щуки, навпаки, вміст альбуміну зростає за дії кобальту у концентрації 0,1 мг/дм³ на 31,7%, а за дії 0,25 мг/дм³ металу — на 10,4%. Те, що за дії обох досліджених концентрацій зростає вміст альбуміну в сироватці крові щуки, слід розглядати як наслідок посилення його синтезу — більший вміст цього білка сприяє інтенсифікації виведення металу з організму шляхом перерозподілу його з тканин током крові [7].

У сироватці крові кобальт зв'язується з альбуміном, а концентрація вільного, іонізованого Co^{2+} оцінюється від 5 до 12 % загальної кількості кобальту [37], тому зростання вмісту альбуміну може бути пов'язано з процесами транспортування металу.

Таблиця 2

Фракційний склад білків сироватки крові прісноводних риб за дії іонів кобальту (% від загального вмісту білків)

Групи риб	Альбумін	Глобуліни			
		α_1	α_2	β	γ
Карась					
Контроль	11,62±0,44	20,44±1,05	31,17±2,08	25,78±3,24	10,99±0,61
0,1 мг/дм ³	11,46±0,50	16,73±1,06*	25,38±1,31*	35,00±2,05*	11,43±0,79
0,25 мг/дм ³	10,84±0,63	21,87±2,10	24,77±1,70*	29,49±4,54	13,04±1,19
Щука					
Контроль	10,29±0,65	22,88±0,88	9,02±0,42	38,01±1,41	19,81±0,49
0,1 мг/дм ³	13,55±0,93*	26,37±1,08*	9,47±0,65	33,52±1,26*	17,09±0,86*
0,25 мг/дм ³	11,36±0,73	25,47±0,30*	8,40±0,60	36,93±1,36	17,84±0,59*

При цьому виведення з організму деяких металів тісно пов'язано з перерозподілом цих іонів у жовчний міхур, звідки вони з жовчю виводяться у кишечник, а потім з організму. Зростання вмісту альбуміну за дії підвищених концентрацій іонів кобальту у воді може бути пов'язано саме з цими процесами. [8].

Глобуліни сироватки крові беруть участь у транспортуванні ліпідів, гормонів, вітамінів та іонів металів, вони утворюють важливі компоненти системи згортання крові, а фракція γ -глобулінів містить антитіла імунної системи [26]. В нашому дослідженні глобуліни сироватки крові карася та щуки були розділені на α_1 -, α_2 -, β - та γ -глобуліни. Найбільше білка як у карася, так і у щуки виявлено у фракції β -глобулінів, а найменше — у фракції α_2 -глобулінів у щуки та γ -глобулінів у карася.

При вивченні впливу іонів кобальту на вміст білків α_1 -фракції було виявлено той факт, що підвищені концентрації металу приводять у карася до зниження їх вмісту на 18,1 % за дії 0,1 мг/дм³ та до незначного зростання (на 7,0 %) – за дії 0,25 мг/дм³ кобальту у воді. Що стосується щуки, то обидві досліджені концентрації металу вели до зростання кількості білків α_1 -фракції в сироватці її крові (0,1 мг/дм³ — на 15,2 %, а 0,25 мг/дм³ – на 11,3 %).

До фракції α_1 -глобулінів належать такі білки, як антитрипсин, відповідальний за інгібування трипсину та інших протеїназ, антихімотрипсин, що бере участь в інгібуванні хімотрипсину, ліпопротеїн, що транспортує ліпіди, протромбін та інші. Як було показано у дослідженнях авторів [28], метали інгібують деякі протеїнази. Очевидно, зниження вмісту таких регуляторів активності цих ферментів є відповіддю гормональної та інших систем організму на підвищення рівня металу у тканинах. Особливо це стосується м'язів, де значно зростає кількість кобальту за його підвищеного вмісту у воді [4].

Зміни у відносному вмісті α_2 -глобулінів виявилися більш значними у карася та меншими у щуки. В результаті дії на організм риб обох досліджених концентрацій кобальту ми спостерігали зниження кількості цієї фракції білків як у карася, так і у щуки, за винятком останньої концентрації 0,1 мг/дм³, яка майже не впливала на цей показник. Найбільше відхилення від контролю відмічено у карася і щуки за дії металу в кількості 0,25 мг/дм³ (відповідно 20,5 та 6,9 %).

Зниження відносної частки α_2 -фракції за дії підвищених концентрацій іонів кобальту логічно пов'язуються з її якісним складом. До складу білкового спектру цієї фракції входить макроглобулін, функцією якого є перенесення іонів металів. Той факт, що вміст білків цієї фракції знижується, може бути пов'язаний з трьома чинниками. По-перше, токсична дія іону металу може інгібувати синтез білків цієї фракції у печінці. По-друге, значна активація процесів перенесення іонів металу до органів, за допомогою яких відбувається виведення їх з організму, може посилювати розщеплення метал-зв'язуючих білків, а переважання інтенсивності цього процесу над синтезом нових молекул цих білків спричиняє зниження загального їх вмісту в сироватці крові риб. По-третє, часткове зниження

кількості білків цієї фракції може бути наслідком зростання вмісту білків інших фракцій, зокрема альбуміну, що ми спостерігаємо у щуки.

Нами також виявлені зміни відносного вмісту білків і у фракції β -глобулінів. Так, показники вмісту білків цієї фракції у карася за дії іонів кобальту зростають на 35,7 % при 0,1 мг/дм³ та на 14,4% при 0,25 мг/дм³ металу у воді. Із літератури відомо [26], що у складі β -глобулінів міститься трансферин, білок, який зв'язує і транспортує іони заліза. Імовірно, збільшення вмісту цього білка в сироватці крові карася пов'язано з посиленням кровотворної функції його організму, тому що кобальт активно впливає саме на ці процеси.

У сироватці крові щуки, навпаки, підвищені концентрації іонів кобальту у воді призводять до незначного зниження вмісту білків у фракції β -глобулінів, що можна пояснити, з одного боку, інгібуванням синтезу білків даної фракції, а з іншого — посиленням їх використання у метаболічних та структурних перебудовах для забезпечення стійкості організму до змін гідрохімічного режиму.

Щодо γ -глобулінів, білків, з якими здебільшого пов'язують захисні властивості організму, то їхня кількість у карася та щуки змінюється по-різному. Так, у карася їхня кількість зростає на 4,0 % за дії 0,1 мг/дм³ та на 18,6 % за дії 0,25 мг/дм³ кобальту у воді. У щуки ж, навпаки, вміст білків цієї фракції знижується на 13,7 % при 0,1 мг/дм³ та на 9,9 % при 0,25 мг/дм³ металу у воді.

Згідно результатів, отриманих авторами [23], середні значення вмісту імуноглобулінів були вищими у коропів, які піддавалися впливу підвищених концентрацій кадмію та свинцю. У *Tilapia nilotica*, навпаки, вплив сульфату кадмію (0,5 мг/л) призвів до значного зниження їх рівня [38], що автори пояснюють високою секрецією кортизолу, гіперглікемією, а також пригніченням імунної системи експонованих риб.

Зростання вмісту γ -глобулінів вказує на посилення імуногенезу, хоча імунні тіла складають лише певну частину загальної кількості γ -глобулінів сироватки крові. Відомо, що при гострих запальних процесах спостерігається зростання кількості білків у α -фракціях [3]. До того ж у фракціях β - і γ -глобулінів при електрофорезі під час запальних процесів виявлено С-реактивний білок [26]. Він пов'язаний з ліпідами сироватки крові і відповідає за активацію комплементу. Можливо, зростання частки γ -глобулінів за інтоксикації іонами важких металів пов'язано також і з цим білком.

Певне діагностичне значення має визначення кількісних співвідношень між фракціями альбумінів та глобулінів — білкового коефіцієнту. Альбумін-глобуліновий коефіцієнт є інформативним індексом для відстеження відносної зміни складу білка в сироватці крові риб [22].

Альбумін і глобулін утворюють більшу частину білків і будь-які модифікації в їхній кількості призводять до порушення співвідношення А/Г. Зниження цього співвідношення може свідчити про ураження печінки риб [24].

Таблиця 3

Значення білкового коефіцієнту в сироватці крові досліджуваних видів риб за дії іонів кобальту (А/Г)

Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
Карась		
0,13±0,02	0,13±0,03	0,12±0,01
Щука		
0,11±0,01	0,15±0,01*	0,13±0,02

У наших дослідженнях цей показник практично не змінювався у карася і дещо зростав за дії обох концентрацій кобальту у щуки (табл. 3). Отримані нами дані узгоджуються з даними автора [3], який спостерігав зростання білкового коефіцієнту за дії на організм коропа іонів мангану, цинку, міді та свинцю. Автор пов'язує зростання даного показника з підвищенням в сироватці крові риб процентного вмісту альбумінів та зі зниженням вмісту окремих фракцій глобулінів.

Висновки

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок про те, що кров риб є досить чутливою тканиною організму, яка швидко реагує на зміну лімітуючих екологічних чинників водного середовища. У зв'язку з цим перспективним є застосування гематологічного аналізу, який дозволяє за біохімічними показниками крові передбачати зміни в організмі риб за дії різних чинників оточуючого водного середовища, включно з важкими металами.

У наших дослідженнях підвищені концентрації іонів кобальту призводили як до зміни сумарної концентрації білків сироватки крові, так і до перерозподілу фракційного складу цих білків, що свідчить про певні компенсаторні або патологічні зміни в органах і тканинах організму риб. Подальше вивчення адаптивних реакцій системи крові риб та пошук тих інтегральних показників крові, які вказують на ключові зміни стану їхнього організму за екстремального впливу водного середовища, є перспективними для оцінки токсичного забруднення екосистем та їх біомоніторингу.

Список використаної літератури

1. Грициняк І.І., Фріштак О.М., Пірус Р.І. та ін. Вплив хлористого кобальту на ріст і фізіолого-біохімічні показники дволіток коропа. *Наук. Вісн. ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. 2012. Т. 14, № 3 (53), Ч. 2. С. 59—62.
2. Кондратьєва Т.П. Изменение содержания общего белка и фракционного состава белков сыворотки крови некоторых черноморских рыб в период нереста. *Гидробиол. журн.* 1977. Т. 13, № 4. С. 75—79.
3. Курант В.З. Роль білкового обміну в адаптації риб до дії іонів важких металів: автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2003. 38 с.

4. Марків В.С., Хоменчук В.О., Курант В.З. Накопичення кобальту в організмі прісноводних риб за його підвищеного вмісту у воді. *Доп. Нац. акад. наук Укр.* 2023. № 6. С. 78–82.
5. Про деякі питання діяльності Комітету з питань етики (біоетики) : наказ від 19.11.2012 р. № 1287. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1287736-12#Text>.
6. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
7. Чегер С.И. Транспортная функция сывороточного альбумина. Бухарест, Изд-во Акад. соц. респ. Румынии. 1975. 183 с.
8. Abdel-Baki A.S., Dkhil M.A., Al-Quraishy S. Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. *Af. J. Biotech.* 2011. Vol. 10 (13). P. 2541–2547.
9. Atamanalp M., Kocaman E.M., Ucar A., Alak G. The alterations in the hematological parameters of brown trout *Salmo trutta fario*, exposed to cobalt chloride. *J. Anim. Vet. Adv.* 2010. Vol. 9, N 16. P. 2167–2170.
10. Bentley P.J. A High affinity zinc binding plasma protein in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 1991. Vol. 100. C. P. 491–494. DOI: 10.1016/0742-8413(91)90028-r
11. Blust R. Cobalt. In homeostasis and toxicology of essential metals / Fish Physiology. Cambridge MA, USA: Acad. Press, 2012. Vol. 31, Part A. P. 291–326. doi.org/10.1016/S1546-5098(11)31006-0
12. Boon J.H., Smits J.M., Wensing Th.E. Low plasma proteins of young African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822). *Netherlands J. Agricul. Sci.* 1987. Vol. 35. P. 521–524.
13. Borgia V.J.F., Thatheyus A.J., Murugesan A.G. Impact of electroplating industry effluent on the electrophoretic protein pattern of serum in the freshwater fish *Cyprinus carpio*. *Ind. J. Biochem. Bioph.* 2019. Vol. 56. P. 460–465.
14. Chen J.P. Decontamination of heavy metals: processes, mechanisms, and applications (1st ed.). 2012. CRC Press. 454 p. doi.org/10.1201/b12672
15. De Forest D.K., Brix K.V., Adams W.J. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquat. Toxicol.* 2007. Vol. 84 (2). P. 236–246. doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.02.022
16. Delahaut V., Raskovic B., Salvado M.S. et al. Toxicity and bioaccumulation of Cadmium, Copper and Zinc in a direct comparison at equitoxic concentrations in common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles. *PLoS ONE.* 2020. Vol. 15 (4). e0220485. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220485>
17. Gopal V., Parvathy S., Balasubramanian P.R. Effect of heavy metals on the blood protein biochemistry of the fish *Cyprinus carpio* and its use as a bioindicator of pollution stress. *Environ. Monit. Assess.* 1997. Vol. 48. P. 117–124.
18. Hauser-Davis R.A., Bastos F.F., de Oliveira T.F. et al. Fish bile as a biomarker for metal exposure. *Mar. Polut. Bul.* 2012. Vol. 64(8). P. 1589–1595. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.05.017.
19. Hazrat A., Ezzat K., Ikram I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.* 2019. Vol. 2019. Article ID 6730305. 14 p. doi.org/10.1155/2019/6730305
20. Heydarnejad M.S., Khosravian-Hemamai M., Nematollahi A. Effects of cadmium at sub-lethal concentration on growth and biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ir. Vet. J.* 2013. Vol. 66 (11). doi.org/10.1186/2046-0481-66-11
21. Jadaa W., Mohammed H.K. Heavy metals — definition, natural and anthropogenic sources of releasing into ecosystems, toxicity, and removal methods — an overview. *Study. J. Ecol. Eng.* 2023. Vol. 24(6). P. 249-271. doi:10.12911/22998993/162955.
22. Javed M., Usmani N. An overview of the adverse effects of heavy metal contamination on fish health. *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol.Sci.* 2019. Vol. 89. P. 389–403. doi 10.1007/s40011-017-0875-7

23. Khalesi M. K., Abedi Z., Behrouzi S., Eskandari S. K. Haematological, blood biochemical and histopathological effects of sublethal cadmium and lead concentrations in common carp. *Bulg. J. Vet. Med.* 2017. Vol. 20 (2). P. 141—150.
24. Khan M.S., Javed, M., Rehman, M.T. Heavy metal pollution and risk assessment by the battery of toxicity tests. *Sci. Rep.* 2020. Vol. 10. 16593. doi.org/10.1038/s41598-020-73468-4
25. Konovalov Yu.D. Response of the fish protein-synthesizing system on the impact of mercury, cadmium, copper and zinc cations. *Hydrobiol. J.* 2002. Vol. 38, N 1. 12 p. doi: 10.1615/HydrobJ.v38.i1.110
26. Koolman J., Rüdiger K.-H. Color atlas of biochemistry. Thieme, 1996. 435 p.
27. Kulkarni R.S. Blood serum concentration of protein, albumin and globulin in locally available four fresh water fishes. *Intern. J. Current Advanced Res.* 2021. Vol. 10. P. 23613—23615. doi.org/10.24327/ijcar.2021.23615.4681
28. Kuz'mina V.V., Ushakova N.V. Effects of temperature, pH, and heavy metals (copper, zinc) upon proteinase activities in digestive tract mucosa of typical and facultative piscivorous fish. *J. Ichthyol.* 2007. Vol. 47. P. 473—480. doi.org/10.1134/S0032945207060070
29. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.I., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol Chem.* 1951. Vol. 193, N 1. P. 265—275.
30. Moore J.W., Ramamoorthy S. Heavy metals in natural waters. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 1984. 270 p.
31. Mukherjee S., Kaviraj A. Evaluation of growth and bioaccumulation of cobalt in different tissues of common carp, *Cyprinus carpio*, fed cobalt-supplemented diets. *Acta Ichthyol. Pisc.* 2009. Vol. 39. P. 87—93.
32. Nasri F., Heydarnejad S., Nematollahi A. Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croatian J. Fisheries.* 2019. Vol. 77 (4). P. 243—252.
33. Nazir R., Khan, Masab M. et al. Accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and water collected from Tanda Dam Kohat. *J. Pharm. Sci. Res.* 2015. Vol. 7 (3). P. 89—97.
34. Nurfaidah N., Metusalach M., Sukarno S., Mahendradatta M. Protein and albumin contents in several freshwater fish species of Makassar, South Sulawesi. *Int. Food Res. J.* 2021. Vol. 28 (4). P. 745—751. doi.org/10.47836/ifrj.28.4.11
35. Sabullah M. K., Ahmad S. A., Shukor M. Y. et al. Heavy metal biomarker: fish behavior, cellular alteration, enzymatic reaction and proteomics approaches. *Ibid.* 2015. Vol. 22. P. 435—454.
36. Shahjahan M., Taslima K., Rahman M.S. et al. Effects of heavy metals on fish physiology. A review. *Chemosphere.* 2022. Vol. 300. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134519.
37. Simonsen L.O., Harbak H., Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology — A brief update. *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 432. P. 210—215.
38. Zaki M. S., Fawzi O.M., Mostafa S.O. et al. Biochemical studies on *Tilapia nilotica* exposed to climate change and cadmium sulphate (0.50 p.p.m). *New York Sci. J.* 2010. Vol. 3 (4). P. 90—95.
39. Zhang P., Yang M., Lan J. et al. Water quality degradation due to heavy metal contamination: health impacts and eco-friendly approaches for heavy metal remediation. *Toxics.* 2023. Vol. 11, 828. doi.org/10.3390/toxics11100828

Надійшла 7.05.2024

N.O. Vovchek, graduate student,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: natvovchek@ukr.net
ORCID 0000-0002-2292-3477

V.S. Markiv, graduate student,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: vitya.marktwen@gmail.com
ORCID 0000-0003-1294-7827

V.O. Khomenchuk, PhD (Biol.), Assistant Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua
ORCID 0000-0003-0500-6754

V.Z. Kurant, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University
M. Kryvonosa St., 2, Ternopil, 46027, Ukraine
e-mail: kurant@tnpu.edu.ua
ORCID 0000-0002-3349-046X

FRACTIONAL COMPOSITION OF BLOOD SERUM PROTEINS OF FRESHWATER FISH UNDER THE ACTION OF COBALT IONS

The fractional composition of the blood serum of crucian carp (*Carassius gibelio* Bloch.) and pike (*Esox lucius* L.) under the influence of 2 and 5 maximum permissible concentrations (MPC) of cobalt, which in terms of ions was 0.1 and 0.25 mg/dm³ was studied. Increased concentrations of cobalt ions lead to changes in both the total concentration of serum proteins and their fractional composition. Under the influence of 0.1 and 0.25 mg/dm³ of cobalt ions, the total protein content in the blood serum of crucian carp increased by 18.9 and 24.8%, respectively, while in pike this indicator reliably decreased by 15.8% only under the influence of 0.25 mg/dm³ of metal ions.

In crucian carp blood serum, elevated concentrations of cobalt did not lead to significant changes in the amount of albumin and γ -globulins, while the effect of 0.1 mg/dm³ of cobalt ions caused a decrease in the amount of α_1 and α_2 -globulins and an increase in the amount of β -globulins. In pike blood serum, there was a marked and reliable increase in the amount of albumin and α_2 -globulins and a decrease in the content of β and γ -globulins under the action of 0.1 mg/dm³ of metal ions. Exposure to 0.25 mg/dm³ of cobalt ions caused an increase in β -globulins and a decrease in γ -globulins in pike serum. A significant increase in the albumin-globulin ratio was noted only in pike blood serum under the influence of 0.1 mg/dm³ of Co²⁺ ions. Further studies of the adaptive reactions of the blood system of freshwater fish are promising both for the assessment of the health of their organism and biomonitoring of hydroecosystems for cobalt intoxication.

Key words: crucian carp, pike, blood serum proteins, cobalt.