

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.04.064>
УДК 546.732 : (597.551.2+597.552.1): 612.1

Н.О. Вовчек, <https://orcid.org/0000-0002-2292-3477>

В.О. Хоменчук, <https://orcid.org/0000-0003-0500-6754>

В.З. Курант, <https://orcid.org/0000-0002-3349-046X>

Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка, Тернопіль, Україна
E-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

Гематологічні показники в організмі прісноводних риб за підвищених концентрацій іонів кобальту

Представлено членом-кореспондентом НАН України С.О. Афанасьєвим

Досліджено гематологічні показники в організмі карася сріблястого (*Carassius gibelio* Bloch.) і щуки звичайної (*Esox lucius* L.) за підвищених концентрацій іонів кобальту у воді (0,1 та 0,25 мг/дм³). Встановлено, що зміни показників крові риб в основному залежать від концентрації іонів металу у воді і визначаються видовою специфікою. Так, у крові карася зростання кількості еритроцитів, гематокриту та гемоглобіну зафіксовано лише за концентрації 0,1 мг/дм³ іонів кобальту, тоді як у щуки — за концентрації 0,25 мг/дм³. Накопичення кобальту в крові як карася, так і щуки за умов підвищеного вмісту іонів металу у воді не виявлено.

Ключові слова: карась сріблястий, щука звичайна, гематологічні показники, кобальт.

Вступ. Важкі метали, які надходять у довкілля з антропогенних джерел забруднення, істотно впливають на стан водних екосистем. Збільшення їх вмісту у воді, донних відкладах та біоті призводить до зниження продуктивності водних екосистем і становить потенційну небезпеку для людини. Ці токсиканти можуть накопичуватися в організмі тварин і впливати на метаболічні процеси в ньому, зокрема білковий, ліпідний та вуглеводневий обміни, функціонування ферментів, проникність біомембран. Все це може спричинити ослаблення організму, порушення його росту та розвитку [1—3].

Кобальт є незамінним мікроелементом, що необхідний для нормальної життєдіяльності усіх хребетних тварин, у тому числі риб [4]. Він є компонентом вітаміну В₁₂, який активує процеси кровотворення, а також впливає на ріст риб [5].

Ц и т у в а н н я: Вовчек Н.О., Хоменчук В.О., Курант В.З. Гематологічні показники в організмі прісноводних риб за підвищених концентрацій іонів кобальту. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2024. № 4. С. 64—71. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.04.064>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Практично всі водойми містять незначні (фонові) концентрації кобальту, які різняться навіть у межах однієї водойми [6]. Роль гідробіонтів у колообігу кобальту досить значна. Так, у фітопланктоні риборозвідних ставків на 1 кг сухої маси припадає 30 мг кобальту [7]. Із макрофітів найбільше кобальту накопичує сальвінія плавуча, а найменше — тростина звичайна. В організмі безхребетних вміст цього металу значно вищий, ніж у воді, що свідчить про його акумуляцію в біологічних рідинах і тканинах. Значну кількість кобальту накопичують олігохети та личинки хірономід. Додавання в кормові суміші риб солей кобальту сприяє приросту біомаси однорічних коропів майже на 20 % [8]. Цей метал також впливає на обмін і біологічну дію кальцію та фосфору. Так, недостатнє надходження в організм риб солей кобальту спричиняє неповне засвоєння цих хімічних елементів [9].

Зазвичай в незабруднених природних водах вміст кобальту невеликий (менш ніж кілька мкг/дм³), проте за несприятливих умов його концентрація у поверхневих водах може зростати і виявляти токсичний вплив на водні організми [10, с. 436—449].

Риби досить чутливі до забруднювальних речовин, що знаходяться у воді, тому їх часто використовують у моніторингових дослідженнях і для визначення якості води методами біоіндикації та біотестування [11, 12]. З метою виявлення ступеня токсичності металів для риб переважно використовують лабораторні умови, в яких можна визначити шкочинну концентрацію того чи іншого металу для конкретного виду риб. На підставі сказаного вище стає очевидним необхідність і актуальність розвитку досліджень з їхтотоксикології.

Система крові відображає реакцію організму риб на дію різних фізіологічних і токсичних чинників, оскільки дія токсикантів призводить насамперед до зміни якісних та кількісних характеристик крові. Кількість крові в організмі риб у середньому становить 1—2 %. У костистих риб вона коливається від 0,9 до 3,7 %, у морських — становить близько 4,15 %, у прісноводних — 2,7 % [7]. Тому актуальність питання щодо використання параметрів крові риб як біомаркерних показників антропогенного впливу відзначено багатьма дослідниками [13—15].

Саме тому **метою** нашого дослідження було вивчення впливу іонів кобальту на деякі гематологічні показники в організмі прісноводних риб, а також накопичення цього металу в їх крові за підвищеного його вмісту у воді.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження були карась сріблястий (*Carassius gibelio* Bloch.) і щука звичайна (*Esox lucius* L.) середньою масою 200—220 г та 150—170 г відповідно. Вивчали вплив кобальту у двох концентраціях — 2 і 5 ГДК, що в перерахунку на іони становило 0,1 та 0,25 мг/дм³. Ці концентрації зумовлюють формування в організмі риб адаптивної реакції на стрес-чинник [11, 16], а тому переважно використовуються під час досліджень водних інтоксикацій. Використання менших концентрацій було б не доцільним через відсутність ефекту їх впливу на досліджувані показники як у гострому, так і в хронічному експериментах.

Метал у вигляді $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ вносили у воду 200-літрових акваріумів, де знаходилися дослідні групи риб (по п'ять особин у кожному). З метою зниження впливу на риб їх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодвобово. Для досягнення стану розвитку і максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до металу аклімацію риб здійснювали протягом 14 діб. Цей період, за даними [17], достатній для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин.

Кров для аналізу брали із серця риб. 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 [18]. Для визначення вмісту іонів кобальту в крові риб проби спалювали в перегнаній нітратній кислоті у співвідношенні 1 : 5 (об'єм : об'єм). Вміст металу визначали на оптичному спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою "iCAP 6300 DUO" (США) і виражали в міліграмах на літр крові.

Кількість еритроцитів підраховували в камері Горяєва [19]. Гематокритне число (відношення об'єму еритроцитів до загального об'єму крові) визначали за допомогою мікрокапілярів, попередньо оброблених розчином гепарину і висушених за кімнатної температури. У підготовлені в такий спосіб капіляри набирали кров. Кінець капіляра закупорювали замазкою і ставили центрифугувати на 10 хв при 2000 об/хв до отримання постійного об'єму еритроцитів. Об'єм еритроцитів і сироватки вимірювали за допомогою міліметрової лінійки. Відсоткове співвідношення стовпчика еритроцитів до висоти всього стовпа крові є гематокритною величиною [19].

Рівень гемоглобіну досліджували гемоглобінціанідним методом [18]. Вміст білка в сироватці крові визначали за Лоурі та співавт. [21]. Усі одержані дані оброблено статистично з використанням пакета "Microsoft Office Excel".

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз параметрів крові дає можливість оцінити загальний фізіологічний стан організму риб, його стійкість, здатність адаптуватися до змінних умов середовища, зокрема до високих концентрацій іонів металів, що забруднюють водойми [22—25].

**Гематологічні показники у прісноводних риб
за підвищених концентрацій іонів кобальту у воді ($M \pm m, n = 5$)**

Варіант досліджу	Вміст кобальту у крові, мг/дм ³	Кількість еритроцитів, млн/мм ³	Гематокрит	Гемоглобін, г/дм ³	Білок сироватки, мг/мл
Карась					
Контроль	0,24 ± 0,03	0,99 ± 0,08	0,36 ± 0,02	67,32 ± 4,42	28,5 ± 1,7
Концентрація Co ²⁺ у воді, мг/дм ³					
0,10	0,23 ± 0,02	1,37 ± 0,14*	0,42 ± 0,01*	91,32 ± 6,42*	33,9 ± 3,2
0,25	0,25 ± 0,03	1,05 ± 0,07	0,37 ± 0,03	80,12 ± 6,16	35,6 ± 1,3*
Щука					
Контроль	2,39 ± 0,24	1,46 ± 0,14	0,40 ± 0,02	46,76 ± 2,84	29,3 ± 3,1
Концентрація Co ²⁺ у воді, мг/дм ³					
0,10	2,24 ± 0,20	1,68 ± 0,04	0,45 ± 0,03	40,83 ± 5,45	27,5 ± 2,1
0,25	2,00 ± 0,21	2,14 ± 0,19*	0,52 ± 0,01*	55,73 ± 2,54*	24,7 ± 1,9

* Різниця вірогідна порівняно з контролем ($P < 0,05$).

Загалом зазначимо, що будь-які зміни хімічного складу водного середовища неминуче зумовлюють зміни складу крові риб, які живуть у водоймі, що, в свою чергу, позначається на процесах метаболізму в їх організмі.

Під час досліджень нами виявлено, що вміст кобальту в крові карася за підвищених концентрацій його іонів у воді (0,1 та 0,25 мг/дм³) практично не змінюється (таблиця). За концентрації Co^{2+} 0,1 мг/дм³ кількість еритроцитів у крові карася зростала в 1,4 раза, тоді як за концентрації 0,25 мг/дм³ спостерігалось повернення до контрольних значень їх кількості.

Під впливом кобальту може істотно змінюватися співвідношення формених елементів у крові риб [16]. З одного боку, ця властивість зумовлена ослизненням епітеліальних структур зябер [26], що насамперед призводить до гіпоксії риб і порушення газообміну у їх зябровому апараті, а з іншого — надходженням надлишкових кількостей металу до організму та порушенням метаболізму риб в цілому й окремих гематологічних характеристик зокрема.

Аналогічний характер змін за підвищених концентрацій іонів кобальту відмічено і для гематокритного числа карася. Цей показник зростав за концентрації 0,1 мг/дм³ іонів Co^{2+} і не змінювався за концентрації 0,25 мг/дм³. Підвищене значення гематокриту в риб може свідчити про згущення крові за умов токсичного стресу, а низьке може бути наслідком анемії, гемолізу або пошкодження зябер [27].

Вміст гемоглобіну у риб може варіювати в досить широкому інтервалі [28]. Аналіз отриманих результатів свідчить про зростання кількості гемоглобіну в крові карася за обох досліджуваних концентрацій іонів кобальту у воді, проте достовірні ці зміни лише за дії 0,1 мг/дм³, коли його значення зростає у 1,35 раза. З одного боку, це може бути обумовлено позитивним впливом іонів металу на вміст пігменту. Метаболічна роль кобальту пов'язана з його участю в процесах кровотворення і перенесення кисню гемоглобіном та іншими пігментами крові. Він необхідний для синтезу гемоглобіну, в якому бере участь опосередковано — через вітамін B_{12} , до складу якого входить [29]. Також зростання концентрації гемоглобіну може відбуватися за рахунок утворення неактивних форм його внаслідок дії іонів кобальту [20].

Модуляції вмісту білків у сироватці крові, які мають високу варіабельність, можуть слугувати індикатором патологічних процесів в організмі риб [30]. Аналіз отриманих результатів свідчить про тенденцію до зростання вмісту білка в сироватці крові карася за обох досліджених концентрацій іонів кобальту. Імовірно, високі концентрації іонів кобальту спричиняють розпад білків печінки, що, в свою чергу, зумовлює зростання їх кількості в сироватці крові карася. Водночас збільшення вмісту білків можна пояснити зростанням кількості альбуміну як адаптивне пристосування до порушення газо- та осморегуляції [31].

У шуки зміни гематологічних показників за досліджених концентрацій кобальту мали свою видову специфіку (див. таблицю). Зокрема, було відмічено тенденцію до зниження вмісту кобальту в крові риб. При цьому слід зазначити, що вміст кобальту в крові шуки значно вищий за такий у крові карася.

Статистичний аналіз отриманих результатів виявив, що за концентрації 0,25 мг/дм³ металу у воді в крові шуки кількість еритроцитів зростає у 1,47 раза, гематокритне число — у 1,3 раза. Концентрація гемоглобіну у крові шуки за дії 0,25 мг/дм³ іонів кобальту збільшується на 19 %, тоді як за концентрації 0,1 мг/дм³ відмічається тенденція до її зни-

ження. В організмі тварин кобальт може активувати іонізацію та резорбцію заліза, сприяючи тим самим включенню його атомів у молекулу гемоглобіну [29].

Автори роботи [16] річкову форель піддавали дії хлориду кобальту ($0,18 \text{ мг/дм}^3$) протягом 28 діб, при цьому встановлено збільшення кількості еритроцитів, тромбоцитів та гематокриту. Водночас значення гемоглобіну були знижені внаслідок впливу хлориду кобальту.

Нами також було виявлено тенденцію до зниження вмісту білка у сироватці крові щуки за досліджених концентрацій Co^{2+} пропорційно до зростання кількості іонів металу у воді.

Висновки. Отже, гематологічні показники риб відображають їх функціональний стан за токсичної дії іонів важких металів. При цьому зміни показників крові досліджуваних видів риб визначаються як концентрацією іонів металу у воді, так і видовою специфікою. Слід зазначити, що не спостерігалось накопичення кобальту в крові як карася, так і щуки за умов його підвищеного вмісту у воді. У крові карася зростання кількості еритроцитів, гематокриту та гемоглобіну було відмічено лише за концентрації $0,1 \text{ мг/дм}^3$ іонів кобальту, тоді як у щуки — за концентрації $0,25 \text{ мг/дм}^3$. Різностямований видовий характер змін встановлено щодо вмісту білків плазми крові риб: у карася виявлено тенденцію до зростання їх кількості, тоді як у щуки — до їх зниження.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ahmed Q., Benzer S., Elahi N. Seasonal variations of heavy metal concentration in *Sardinella sindensis* (Day, 1878) from Balochistan coast. *J. Coast. Life Med.* 2015. 3, № 5. P. 337—340. <https://doi.org/10.12980/JCLM.3.2015JCLM-2015-0009>
2. Simonsen L.O., Harbak H., Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology — a brief update. *Sci. Total Environ.* 2012. 432, № 15. P. 210—215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.009>
3. Homeostasis and toxicology of essential metals: Wood C.M., Farrell A.P., Brauner C.J. (Eds.). London: Academic Press, 2011. 497 p. (Fish Physiology, Vol. 31A).
4. Jezierska B., Witeska M. Metal toxicity to fish. Siedlce: Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, 2001. 318 p.
5. Blust R. Cobalt. *Homeostasis and toxicology of essential metals*. London: Academic Press, 2011. P. 291—326. (Fish Physiology, Vol. 31A). [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(11\)31006-0](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(11)31006-0)
6. Neal C., Smith C. J., Jeffery H.A., Jarvie H.P., Robson A.J. Trace element concentrations in the major rivers entering the Humber estuary, NE England. *J. Hydrol.* 1996. 182. P. 37—64. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02940-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02940-0)
7. Вогнівенко Л.П., Євтушенко М.Ю., Шевряков М.В., Архангельська М.В., Пентилюк С.І. Біохімія гідробіонтів: Практикум. Херсон: Олді-плюс, 2009. 536 с.
8. Грициняк І.І., Фріштак О.М., Пірус Р.І., Бобеляк Л.Й., Борецька І.М. Вплив хлористого кобальту на ріст і фізіолого-біохімічні показники дволіток коропа. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2012. 14, № 3, ч. 2. С. 59—62.
9. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ: Обереги, 2001. 728 с.
10. Fraústo da Silva J.J.R., Williams R.J.P. The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life. Oxford: Oxford University Press, 2001. 575 p.
11. Atamanalp M., Ucar A., Kocaman E.M., Keles S., Sisman T., Turkez H. Alterations in the blood biochemistry of *Salmo trutta fario* exposed to cobalt chlorite. Elazig, Turkey, 2009. 43 p.
12. Van der Oost R., Beyer J., Vermeulen N.P.E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2003. 13, № 2. P. 57—149. [https://doi.org/10.1016/s1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/s1382-6689(02)00126-6)

13. Lermen C.L., Lappe R., Crestani M., Vieira V.P., Gioda C.R., Schetinger M.R.C., Baldissotto B., Moraes G., Morsch V.M. Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*. 2004. **239**. P. 497—507. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.021>
14. Nabi N., Ahmed I., Wani G.B. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi J. Biol. Sci.* 2022. **29**, № 4. P. 2942—2957. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.019>
15. Sharma J., Langer S. Effect of Manganese on haematological parameters of fish, *Garra gotyla gotyla*. *J. Entomol. Zool. Stud.* 2014. **2**, № 3. P. 77—81.
16. 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. **9**, № 16. P. 2167—2170.
17. Nasri F., Heydarnejad S., Nematollahi A. Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croat. J. Fish.* 2019. **77**, № 4. P. 243—252. <https://doi.org/10.2478/cjf-2019-0018>
18. Laposata M., McCaffrey P. Clinical laboratory methods: Atlas of commonly performed tests. New York: McGraw Hill, 2022. 192 p.
19. Blaxhall P.C., Daisley K.W. Routine haematological methods for use with fish blood. *J. Fish Biol.* 1973. **5**, № 6. P. 771—781. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x>
20. Bozza M.T., Jeney V. Pro-inflammatory actions of heme and other hemoglobin-derived DAMPs. *Front Immunol.* 2020. **11**. 1323. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01323>
21. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. **193**, № 1. P. 265—275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
22. Fazio F., Marafioti S., Arfuso F., Piccione G., Faggio C. Comparative study of the biochemical and haematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species. *Vet. Med.* 2013. **58**, № 11. P. 576—581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>
23. Witeska M. Stress in fish haematological and immunological effects of heavy metals. *Electron. J. Ichthyol.* 2005. **1**, № 35. P. 35—41.
24. Moiseenko T.I. Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish. *Geochem. Int.* 2015. **53**, № 3. P. 213—223. <https://doi.org/10.1134/S001670291503009X>
25. Soundararajan M., Veeraiyan G. Effect of heavy metal Arsenic on haematological parameters of fresh water fish, *Tilapia mossambica*. *Int. J. Modn. Res. Revs.* 2014. **2**, № 3. P. 132—135.
26. Vinodhini R., Narayanan M. The impact of toxic heavy metals on the hematological parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 2009. **6**, № 1. P. 23—28.
27. Wendelaar Bonga S.E. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 1997. **77**, № 3. P. 591—625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
28. Camus L., Birkely S.R., Jones M.B., Børseth J.F., Grøsvik B.E., Gulliksen B., Lønne O.J., Regoli F., Depledge M.H. Biomarker responses and PAH uptake in *Mya truncata* following exposure to oil-contaminated sediment in an Arctic fjord (Svalbard). *Sci. Total Environ.* 2003. **308**, № 1—3. P. 221—234. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00616-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00616-2)
29. Hamilton E.I. The geobiochemistry of cobalt. *Sci. Total Environ.* 1994. **150**, № 1—3. P. 7—39. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90126-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90126-0)
30. Pinna M., Zangaro F., Saccomanno B., Scalone C., Bozzeda F., Fanini L., Specchia V. An overview of ecological indicators of fish to evaluate the anthropogenic pressures in aquatic ecosystems: from traditional to innovative DNA-based approaches. *Water*. 2023. **15**, № 5. 949. <https://doi.org/10.3390/w15050949>
31. Fernandes M.N., Mazon A.F. Environmental pollution and fish gill morphology. *Fish Adaptation*: Val A.L., Kapoor B.C. (Eds.). Enfield: Sci. Publ., 2003. P. 203—231.

Надійшло до редакції 01.04.2024

REFERENCES

1. Ahmed, Q., Benzer, S. & Elahi, N. (2015). Seasonal variations of heavy metal concentration in *Sardinella sindensis* (Day, 1878) from Balochistan coast. *J. Coast. Life Med.*, 3, No. 5, pp. 337-340. <https://doi.org/10.12980/JCLM.3.2015JCLM-2015-0009>
2. Simonsen, L. O., Harbak, H. & Bennekou, P. (2012). Cobalt metabolism and toxicology — a brief update. *Sci. Total Environ.*, 432, No. 15, pp. 210-215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.009>
3. Wood, C. M., Farrell, A. P. & Brauner, C. J. (Eds.). (2011). Homeostasis and toxicology of essential metals. *Fish Physiology* (Vol. 31A). London: Academic Press.
4. Jezierska, B. & Witeska, M. Metal toxicity to fish. Siedlce: Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, 2001.
5. Blust, R. (2011). Cobalt. In Homeostasis and toxicology of essential metals. *Fish Physiology* (Vol. 31A) (pp. 291-326). London: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(11\)31006-0](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(11)31006-0)
6. Neal, C., Smith, C. J., Jeffery, H. A., Jarvie, H. P. & Robson, A. J. (1996). Trace element concentrations in the major rivers entering the Humber estuary, NE England. *J. Hydrol.*, 182, pp. 37-64. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02940-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02940-0)
7. Vohnivenko, L. P., Yevtushenko, M. Yu., Shevriakov, M. V., Arkhanshelska, M. V. & Pentyliuk, S. I. (2009). Biochemistry of hydrobionts (practicum). Kherson: Oldi-plius (in Ukrainian).
8. Hrytsyniak, I. I., Frishtak, O. M., Pirus, R. I., Bobeliak, L. I. & Boretska, I. M. (2012). The influence of cobalt chloride on the growth and physiological-biochemical indexes of two years carp. *Naukovyi visnyk LNUVMBT im. S. Z. Hzhyskoho*, 14, No. 3, pt. 2, pp. 59-62 (in Ukrainian).
9. Romanenko, V. D. (2004). Fundamentals of hydroecology. Kyiv: Oberehy (in Ukrainian).
10. Fraústo da Silva, J. J. R. & Williams, R. J. P. (2001). The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life. Oxford: Oxford University Press.
11. Atamanalp, M., Ucar, A., Kocaman, E. M., Keles, S., Sisman, T. & Turkez, H. (2009). Alterations in the blood biochemistry of *Salmo trutta fario* exposed to cobalt chlorite. Elazig, Turkey.
12. Van der Oost, R., Beyer, J. & Vermeulen, N. P. E. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 13, No. 2, pp. 57-149. [https://doi.org/10.1016/s1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/s1382-6689(02)00126-6)
13. Lermen, C. L., Lappe, R., Crestani, M., Vieira, V. P., Gioda, C. R., Schetinger, M. R. C., Baldisserotto, B., Moraes, G. & Morsch, V. M. (2004). Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*, 239, pp. 497-507. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.021>
14. Nabi, N., Ahmed, I. & Wani, G. B. (2022). Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. *Saudi J. Biol. Sci.*, 29, No. 4, pp. 2942-2957. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.019>
15. Sharma, J. & Langer, S. (2014). Effect of Manganese on haematological parameters of fish, *Garra gotyla gotyla*. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 2, No. 3, pp. 77-81.
16. Atamanalp, M., Kocaman, E. M., Ucar, A. & Alak, G. (2010). The alterations in the hematological parameters of brown trout *Salmo trutta fario*, exposed to cobalt chloride. *J. Anim. Vet. Adv.*, 9, No. 16, pp. 2167-2170.
17. Nasri, F., Heydarnejad, S. & Nematollahi, A. (2019). Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croat. J. Fish.*, 77, No. 4, pp. 243-252. <https://doi.org/10.2478/cjf-2019-0018>
18. Laposata, M. & McCaffrey, P. (2022). Clinical laboratory methods: Atlas of commonly performed tests. New York: McGraw Hill.
19. Blaxhall, P. C. & Daisley, K. W. (1973). Routine haematological methods for use with fish blood. *J. Fish Biol.*, 5, No. 6, pp. 771-781. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x>
20. Bozza, M. T. & Jeney, V. (2020). Pro-inflammatory actions of heme and other hemoglobin-derived DAMPs. *Front Immunol.*, 11, 1323. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01323>
21. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, No. 1, pp. 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
22. Fazio, F., Marafioti, S., Arfuso, F., Piccione, G. & Faggio, C. (2013). Comparative study of the biochemical and haematological parameters of four wild Tyrrhenin fish species. *Vet. Med.*, 58, No. 11, pp. 576-581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>

23. Witeska, M. (2005). Stress in fish haematological and immunological effects of heavy metals. *Electron. J. Ichthyol.*, 1, No. 35, pp. 35-41.
24. Moiseenko, T. I. (2015). Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish. *Geochem. Int.*, 53, No. 3, pp. 213-223. <https://doi.org/10.1134/S001670291503009X>
25. Soundararajan, M. & Veeraiyan, G. (2014). Effect of heavy metal Arsenic on haematological parameters of fresh water fish, *Tilapia mossambica*. *Int. J. Modn. Res. Revs.*, 2, No. 3, pp. 132-135.
26. Vinodhini, R. & Narayanan, M. (2009). The impact of toxic heavy metals on the hematological parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 6, No. 1, pp. 23-28.
27. Wendelaar Bonga, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77, No. 3, pp. 591-625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
28. Camus, L., Birkely, S. R., Jones, M. B., Børseth, J. F., Grøsvik, B. E., Gulliksen, B., Lønne, O. J., Regoli, F. & Depledge, M. H. (2003). Biomarker responses and PAH uptake in *Mya truncata* following exposure to oil-contaminated sediment in an Arctic fjord (Svaloard). *Sci. Total Environ.*, 308, No. 1-3, pp. 221-234. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00616-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00616-2)
29. Hamilton, E. I. (1994). The geobiochemistry of cobalt. *Sci. Total Environ.*, 150, No. 1-3, pp. 7-39. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90126-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90126-0)
30. Pinna, M., Zangaro, F., Saccomanno, B., Scalone, C., Bozzeda, F., Fanini, L. & Specchia, V. (2023). An overview of ecological indicators of fish to evaluate the anthropogenic pressures in aquatic ecosystems: from traditional to innovative DNA-based approaches. *Water*, 15, No. 5, 949. <https://doi.org/10.3390/w15050949>
31. Fernandes, M. N. & Mazon, A. F. (2003). Environmental pollution and fish gill morphology. In Val, A. L. & Kapoor, B. C. (Eds.). *Fish Adaptation* (pp. 203-231). Enfield: Sci. Publ.

Received 01.04.2024

N.O. Vovchek, <https://orcid.org/0000-0002-2292-3477>

V.O. Khomenchuk, <https://orcid.org/0000-0003-0500-6754>

V.Z. Kurant, <https://orcid.org/0000-0002-3349-046X>

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine

E-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

HEMATOLOGICAL INDICATORS IN THE BODY OF FRESHWATER FISH UNDER THE INFLUENCE OF INCREASED CONCENTRATIONS OF COBALT IONS

Hematological indicators in the body of crucian carp (*Carassius gibelio* Bloch.) and pike (*Esox Lucius* L.) under the influence of increased concentrations of Co^{2+} ions in water (0.1 and 0.25 mg/dm^3) were studied. It was noted that changes in blood parameters mainly depended on the concentration of metal ions in the water and fish species. Thus, an increase in the number of erythrocytes, hematocrit and hemoglobin was observed in the blood of crucian carp only at the concentration of 0.1 mg/dm^3 of cobalt ions, while in pike similar changes of these indicators were observed only at higher concentrations of Co^{2+} ions (0.25 mg/dm^3). Cobalt accumulation in the blood of both crucian carp and pike was not observed under conditions of increased content of metal ions in water.

Keywords: crucian carp, pike, hematological indicators, cobalt.