ДОПОВІДІ
НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ

БІОЛОГІЯ
BIOLOGY

https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.05.047
УДК 597:612.11:546.48:574.64

Б.М. Петрушка, https://orcid.org/0000-0002-2766-4857
Б.О. Іваніцький, https://orcid.org/0009-0001-9861-4224
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: bodik@tnpu.edu.ua

Гематологічні показники в організмі прісноводних риб за підвищених концентрацій іонів кадмію у воді

Представлена академіком 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 кадмію у воді (0,01 та 0,025 мг/дм^3). Встановлено, що зміни показників крові риб визначаються їхньою видовою специфікою. Так, у крові карася зменшення кількості еритроцитів та концентрації гемоглобіну спостерігалося за обох досліджених концентрацій кадмію, тоді як у щуки ці показники знижувалися лише за нижчої концентрації, а за вищої вони поверталися до контрольних значень. Кількість білків у сироватці крові зростала в обох видів риб як за меншої, так і за більшої концентрацій металу у воді.

Ключові слова: *карась сріблястий, щука звичайна, гематологічні показники, кадмій.*

Вступ. На сьогодні важкі метали є основними забруднювачами водного середовища [1, 2]. Збільшення попиту на важкі метали створює тиск на водні екосистеми. Видобування багатьох із них може призвести до підвищення їхньої концентрації та побічних продуктів, пов'язаних з отриманням важких металів, у ґрунтах та водних об'єктах [3]. Збільшення вмісту цих полютантів у воді, донних відкладах та біоті спричиняє зниження продуктивності водних екосистем і становить потенційну небезпеку для людини. Накопичуючись в організмі гідробіонтів, вони впливають на метаболічні процеси в ньому, що зумовлює його ослаблення та порушення росту і розвитку [4, 5].

Цитування: Петрушка Б.М., Іваніцький Б.О., Хоменчук В.О., Курант В.З. Гематологічні показники в організмі прісноводних риб за підвищених концентрацій іонів кадмію у воді. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2026. № 5. С. 47—54. https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.05.047

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Кадмій є високотоксичним металом. Він токсичний для гідробіонтів різних трофічних рівнів, зокрема риб [6]. Цей метал належить до рідкісних розсіяних елементів і міститься в складі ізоморфних домішок багатьох мінералів, таких як грінокіт (CdS), отавіт ($CdCO_3$), монтепоніт (CdO) і кадмоселіт (CdSe). Вміст кадмію в земній корі, ґрунті та природних водах коливається від 10^{-5} до 10^{-6} %. У товщі земної кори він переміщується підземними водами разом з іншими халькофільними елементами. Міграція кадмію в навколишньому середовищі залежить від виду його сполук та pH середовища. У лужних ґрунтах він менш рухливий, ніж у кислих [7].

Риби досить чутливі до забруднювальних речовин, що містяться у воді, тому їх часто використовують у моніторингових дослідженнях і для визначення якості води методами біоіндикації та біотестування [8]. З метою виявлення ступеня токсичності металів для риб переважно використовують лабораторні умови, в яких можна визначити шкодочинну концентрацію того чи іншого металу для конкретного виду риб. На підставі сказаного вище стає очевидним необхідність і актуальність розвитку досліджень з іхтіотоксикології.

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 % [9]. Тому актуальність питання щодо використання параметрів крові риб як біомаркерних показників антропогенного впливу відзначено багатьма дослідниками [10—12].

Метою нашого дослідження було з'ясувати видоспецифічний характер адаптивних реакцій крові прісноводних риб із різною екологічною пластичністю та типом живлення — карася сріблястого та щуки звичайної — за умов впливу підвищених концентрацій іонів кадмію 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 кадмію у двох концентраціях — 2 і 5 ГДК, що в перерахунку на іони становило 0,01 та 0,025 мг/дм^3. Ці концентрації зумовлюють формування в організмі риб адаптивної реакції на стрес-чинник, а тому переважно використовуються під час досліджень водних інтоксикацій [13, 14]. Використання менших концентрацій було б недоцільним через відсутність ефекту їхнього впливу на досліджувані показники як у гострому, так і в хронічному експериментах.

Метал у вигляді $CdCl_2 \cdot 2{,}5\ H_2O$ вносили у воду 200-літрових акваріумів, де перебували дослідні групи риб (по п'ять особин у кожному). З метою зниження впливу на риб їхніх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодводобово. Для досягнення стану розвитку і максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до металу аклімацію риб здійснювали протягом 14 діб. Цей період, за даними В.З. Куранта [15], є достатнім 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. Як антикоагулянт використовували гепарин. Про пряме потрапляння голки в серце риб свідчило інтенсивне витікання крові, що супроводжувалося поштовхо-

подібними скороченнями. Для одержання сироватки кров після зсідання центрифугували 20 хв за швидкості 3000 об/хв [16].

Кількість еритроцитів підраховували в камері Горяєва [17]. Гематокритне число (відношення об'єму еритроцитів до загального об'єму крові) визначали мікрогематокритним методом.

Рівень гемоглобіну досліджували гемоглобінціанідним методом [16]. Вміст білка в сироватці крові визначали за методом Лоурі та співавт. [18]. Усі одержані дані оброблено статистично з використанням пакета Microsoft Office Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. Система крові риб характеризується високою хімічною лабільністю, яка відображає стан організму під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників. 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 [19—21]. Варто також зазначити, що будь-які зміни хімічного складу водного середовища неминуче зумовлюють зміни складу крові риб, які живуть у водоймі, що, своєю чергою, позначається на процесах метаболізму в їхньому організмі.

За дії іонів важких металів може істотно змінюватися співвідношення формених елементів у крові риб [9]. Так, у нашому дослідженні кількість еритроцитів у крові карася знижувалася як за концентрації 0,01 мг/дм^3 іонів кадмію у воді (на 12,3 %), так і за концентрації 0,025 мг/дм^3 (на 36,4 %). У щуки ж цей показник знижувався лише за концентрації іонів металу 0,01 мг/дм^3 (на 31,7 %), тоді як за вищої концентрації він повертався до величини контрольної групи риб (таблиця). Зниження кількості еритроцитів, можливо, зумовлене ослизненням епітеліальних структур зябер внаслідок дії токсиканта [22], що призводить до гіпоксії риб і порушення газообміну в їхньому зябровому апараті, що, своєю чергою, спричиняє порушення метаболізму, зокрема і гематологічних показників [23].

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

Варіант досліду	Кількість еритроцитів, млн/мм^3	Гематокрит, %	Гемоглобін, г/дм^3	Білок сироватки, мг/мл
		Карась		
Контроль	2,03 ± 0,31	33 ± 2	115,95 ± 2,65	21,93 ± 1,61
Концентрація Cd^{2+} у воді, мг/дм^3				
0,01	1,78 ± 0,21	40 ± 3	111,08 ± 1,60	33,07 ± 1,33*
0,025	1,29 ± 0,08*	37 ± 2	107,84 ± 1,07*	28,28 ± 0,63*
		Щука		
Контроль	1,86 ± 0,15	41 ± 1	85,95 ± 2,79	23,36 ± 0,80
Концентрація Cd^{2+} у воді, мг/дм^3				
0,01	1,27 ± 0,11*	38 ± 2	68,92 ± 2,14*	27,93 ± 1,42
0,025	1,86 ± 0,21	40 ± 3	83,51 ± 2,61	29,42 ± 2,42*

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

Певні зміни за дії підвищених концентрацій іонів кадмію відмічено і для гематокритного числа. Якщо у карася цей показник зростав за обох досліджених концентрацій, то у щуки спостерігалася тенденція до його зниження. У карася гематокрит збільшувався на 21,2 % за концентрації 0,01 мг/дм^3 металу у воді і на 12,1 % за концентрації 0,025 мг/дм^3. У щуки відхилення показників гематокриту від контролю менш значні. Цей показник у неї знижувався на 7,3 % за нижчої концентрації та на 2,4 % за вищої концентрації іонів кадмію. Підвищене значення гематокриту в риб може свідчити про згущення крові за умов токсичного стресу, а низьке може бути наслідком анемії, гемолізу або пошкодження зябер [24].

Вміст гемоглобіну в крові риб може варіювати в досить широкому інтервалі [25]. Аналіз отриманих результатів свідчить про зниження кількості цього білка як у карася, так і у щуки. У карася цей показник знижувався лише на 4,2 % за концентрації іонів кадмію 0,01 мг/дм^3 і на 7,0 % за концентрації 0,025 мг/дм^3. У щуки кількість гемоглобіну знижувалася на 19,8 % за нижчої концентрації металу у воді та на 2,8 % за вищої.

Зміни концентрації гемоглобіну можуть бути результатом утворення його неактивних форм під впливом іонів металів. Ці іони здатні впливати на третинну структуру білків, зокрема спричиняючи занурення неполярних радикалів амінокислот у внутрішнє гідрофобне середовище молекули, що потенційно може призвести до змін у структурі гемоглобіну та порушення його функціональної активності [26]. А оскільки за умов інтоксикації в організмі риб переважають анаеробні процеси генерації енергії, то зрозумілою є тенденція до зниження кількості гемоглобіну, що, своєю чергою, зумовлює зниження постачання кисню тканинам організму [27].

Модуляція вмісту білків у сироватці крові, які мають високу варіабельність, може слугувати індикатором патологічних процесів в організмі риб [28]. Аналіз отриманих результатів свідчить про тенденцію до зростання вмісту білка в сироватці крові як карася, так і щуки. У карася цей показник збільшувався на 50,7 % за концентрації іонів кадмію у воді 0,01 мг/дм^3 і на 28,9 % за концентрації 0,025 мг/дм^3, а у щуки — на 19,6 % та 25,9 % відповідно. Імовірно, високі концентрації іонів кадмію спричиняють розпад білків печінки, що, своєю чергою, зумовлює зростання їхньої кількості в сироватці крові риб [29]. Водночас збільшення вмісту білків можна пояснити зростанням кількості альбуміну як адаптивне пристосування до порушення газо- та осморегуляції [22].

Висновки. Іони кадмію у водному середовищі за концентрацій 0,01 та 0,025 мг/дм^3 спричиняють виражену видоспецифічну та дозозалежну перебудову гематологічного профілю прісноводних риб. Первинні реакції організму риб на дію токсиканта виявляються у вигляді зрушень показників крові, гематокриту та сироватки. У карася сріблястого за обох досліджених концентрацій кадмію відмічено стійке пригнічення еритропоезу зі зменшенням кількості еритроцитів до 36 % та падінням рівня гемоглобіну. У щуки звичайної реакція еритроцитарної ланки має фазовий характер із найбільшим пригніченням показників за концентрації іонів кадмію 0,01 мг/дм^3 та їхнім подальшим відновленням до контрольних значень за концентрації 0,025 мг/дм^3. Гематокритне число під впливом токсиканта підвищується у карася на 12—21 %, тоді як у щуки цей показник лише неістотно знижується за нижчої концентрації і повертається до норми за вищої концентрації. Універсальною компенсаторною відповіддю для обох видів риб є розвиток гіперпротеїнемії зі зростанням вмісту білка сироватки на 20—51 %.

Перебудова гематологічних параметрів відображає специфіку метаболічних зрушень і спрямованість адаптаційно-компенсаторних процесів в організмі риб. Висока чутливість та лабільність систем крові підтверджує інформативність досліджених параметрів як біомаркерів для біоіндикації водного токсикозу та оцінювання стану прісноводних екосистем.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Sfakianakis D.G., Renieri E., Kentouri M., Tsatsakis A.M. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environ. Res*. 2015. **137**. P. 246—255. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.014
2. Hama Aziz K.H., Mustafa F.S., Omer K.M., Hama S., Hamarawf R.F., Rahman K.O. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC Adv*. 2023. **13**, № 26. P. 17595—17610. https://doi.org/10.1039/d3ra00723e
3. Jenkins J. A., Musgrove M., White S.J.O. Outlining potential biomarkers of exposure and effect to critical minerals: Nutritionally essential trace elements and the rare earth elements. *Toxics*. 2023. **11**, № 2. 188. https://doi.org/10.3390/toxics11020188
4. Грубінко В.В. Адаптивні стратегії токсикорезистентності до металів у гідробіонтів. *Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол*. 2017. № 2. С. 129—162.
5. Kumar M., Singh S., Jain A., Yadav S., Dubey A., Trivedi S.P. A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes. *J. Trace Elem. Med. Biol*. 2024. **83**. 127377. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377
6. Lee J.-W., Jo A.-H., Kang Y.-J., Lee D., Choi C.-Y., Kang J.-C., Kim J.-H. Review of cadmium bioaccumulation in fish exposed to cadmium. *Toxics*. 2025. **13**, № 1. 7. https://doi.org/10.3390/toxics13010007
7. Martin M.H. Reviewed work: Cadmium in the environment. Part I. Ecological cycling. J.O. Nriagu. *J. Ecol*. 1981. **69**, № 3. P. 1071. https://doi.org/10.2307/2259663
8. 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
9. Вогнівенко Л.П. , Євтушенко М.Ю., Шевряков М.В., Архангельська М.В., Пентилюк С.І. Біохімія гідробіонтів: Практикум. Херсон: Олді-плюс, 2009. 536 с.
10. Lermen C.L., Lappe R., Crestani M., Vieira V.P., Gioda C.R., Schetinger M.R.C., Baldisserotto 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
11. 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
12. 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.
13. Chowdhury M.J., McDonald D.G., Wood C.M. Gastrointestinal uptake and fate of cadmium in rainbow trout acclimated to sublethal dietary cadmium. *Aquat. Toxicol*. 2004. **69**, № 2. P. 149—163. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.05.002
14. Chowdhury M.J., Wood C.M. Renal function in the freshwater rainbow trout after dietary cadmium acclimation and waterborne cadmium challenge. *Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicol. Pharmacol*. 2007. **145**, № 3. P. 321—332. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.01.004
15. Курант В.З. Роль білкового обміну в адаптації риб до дії іонів важких металів: Автореф. дис. … д-ра біол. наук / Інститут гідробіології НАН України. Київ, 2003. 38с.
16. Laposata M., McCaffrey P. Clinical laboratory methods: Atlas of commonly performed tests. New York: McGraw Hill, 2022. 192 p.
17. 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
18. 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

19. Fazio F., Marafioti S., Arfuso F., Piccione G., Faggio C. Comparative study of the biochemical and haematological parameters of four wild Tyrrhenin fish species. *Vet. Med*. 2013. **58**, № 11. P. 576—581. https://doi.org/10.17221/7139-VETMED
20. Witeska M. Stress in fish-haematological and immunological effects of heavy metals. *Electron. J. Ichthyol*. 2005. **1**. P. 35—41.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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
25. 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 (Svaloard). *Sci. Total Environ*. 2003. **308**, № 1—3. P. 221—234. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00616-2
26. Kitanishi K., Shimonaka M., Unno M. Characterization of a cobalt-substituted globin-coupled oxygen sensor histidine kinase from *Anaeromyxobacter* sp. Fw109-5: Insights into catalytic regulation by its heme coordination structure. *ACS Omega*. 2021. **6**, № 50. P. 34912—34919. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05564
27. McGeer J.C., Niyogi S., Smith D.S. Cadmium. *Homeostasis and toxicology of non-essential metals*. London, Waltham, San Diego: Academic Press, 2012. P. 125—184.
28. 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
29. Романенко В.Д. Печень и регуляция межуточного обмена (млекопитающие и рыбы). Киев: Наук. думка, 1978. 183 с.

Надійшла до редакції 08.09.2026

REFERENCES

1. Sfakianakis, D. G., Renieri, E., Kentouri, M. & Tsatsakis, A. M. (2015). Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. Environ. Res., 137, pp. 246-255. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.014
2. Hama Aziz, K. H., Mustafa, F. S., Omer, K. M., Hama, S., Hamarawf, R. F. & Rahman, K. O. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. RSC Adv., 13, No. 26, pp. 17595-17610. https://doi.org/10.1039/d3ra00723e
3. Jenkins, J. A., Musgrove, M. & White, S. J. O. (2023). Outlining potential biomarkers of exposure and effect to critical minerals: nutritionally essential trace elements and the rare earth elements. Toxics, 11, No. 2, pp. 188. https://doi.org/10.3390/toxics11020188
4. Grubinko, V. V. (2017). Adaptive strategies of toxicoresistence to metals in hydrobionts. Scientific Issues Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Ser. Biology, No. 2, pp. 129-162 (in Ukrainian).
5. Kumar, M., Singh, S., Jain, A., Yadav, S., Dubey, A. & Trivedi, S. P. (2024). A review on heavy metal-induced toxicity in fishes: Bioaccumulation, antioxidant defense system, histopathological manifestations, and transcriptional profiling of genes. J. Trace Elem. Med. Biol., 83, 127377. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127377
6. Lee, J.-W., Jo, A.-H., Kang, Y.-J., Lee, D., Choi, C.-Y., Kang, J.-C. & Kim, J.-H. (2025). Review of cadmium bioaccumulation in fish exposed to cadmium. Toxics, 13, No. 1, 7. https://doi.org/10.3390/toxics13010007
7. Martin, M. H. (1981). Reviewed work: Cadmium in the environment. Part I. Ecological cycling. J. O. Nriagu. J. Ecol., 69, No. 3, pp. 1071. https://doi.org/10.2307/2259663
8. 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, № 2, pp. 57-149. https://doi.org/10.1016/s1382-6689(02)00126-6
9. Vognivenko, L. P., Yevtushenko, M. Yu., Shevryakov, M. V., Arkhangelska, M. V. & Pentylyuk, S. I. (2009). Biochemistry of hydrobionts: Workshop. Kherson: Oldi-plus (in Ukrainian).

10. 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
11. 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
12. 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.
13. Chowdhury, M. J., McDonald, D. G. & Wood, C. M. (2004). Gastrointestinal uptake and fate of cadmium in rainbow trout acclimated to sublethal dietary cadmium. Aquat. Toxicol., 69, No. 2, pp. 149-163. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.05.002
14. Chowdhury, M. J. & Wood, C. M. (2007). Renal function in the freshwater rainbow trout after dietary cadmium acclimation and waterborne cadmium challenge. *Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicol. Pharmacol.*, 145, No. 3, pp. 321-332. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.01.004
15. Kurant, V. Z. (2003). The role of protein metabolism in the adaptation of fish to the action of heavy metal ions. (Extended abstract of Doctor thesis). Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine (in Ukrainian).
16. Laposata, M. & McCaffrey, P. (2022). Clinical laboratory methods: Atlas of commonly performed tests. New York: McGraw Hill.
17. 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
18. 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
19. 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
20. Witeska, M. (2005). Stress in fish-haematological and immunological effects of heavy metals. Electron. J. Ichthyol., 1, pp. 35-41.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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
25. 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
26. Kitanishi, K., Shimonaka, M. & Unno, M. (2021). Characterization of a cobalt-substituted globin-coupled oxygen sensor histidine kinase from *Anaeromyxobacter* sp. Fw109-5: Insights into catalytic regulation by its heme coordination structure. ACS Omega., 6, No. 50, pp. 34912-34919. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05564
27. McGeer, J. C., Niyogi, S. & Smith, D. S. (2012). Cadmium. In: Homeostasis and toxicology of non-essential metals (pp. 125-184). London, Waltham, San Diego: Academic Press.
28. 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
29. Romanenko, V. D. (1978). Liver and regulation of interstitial metabolism (mammals and fish). Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).

Received 08.09.2026

B.M. Petrushka, https://orcid.org/0000-0002-2766-4857
B.O. Ivanitskyi, https://orcid.org/0009-0001-9861-4224
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: bodik@tnpu.edu.ua

HEMATOLOGICAL PARAMETERS IN FRESHWATER FISH EXPOSED TO ELEVATED CONCENTRATIONS OF CADMIUM IONS IN WATER

A comprehensive study of hematological parameters in freshwater fish — crucian carp (*Carassius gibelio* Bloch.) and pike (*Esox lucius* L.) — was conducted under the influence of elevated concentrations of cadmium ions in the water (0.01 and 0.025 mg/dm^3, corresponding to 2 and 5 times the maximum permissible concentrations). Fish acclimatization was carried out over 14 days in 200-liter aquariums with regular water changes. Blood samples were collected via cardiac puncture. The evaluated indicators included red blood cell (RBC) count (using a Goryaev chamber), hematocrit value (by microcapillary method), hemoglobin concentration (hemiglobincyanide method), and total serum protein level (Lowry method). It was established that changes in the fish's blood parameters are determined by their species-specific characteristics. In crucian carp, a significant decrease in RBC count was observed at both cadmium concentrations (by 12.3 % at 0.01 mg/dm^3 and by 36.4 % at 0.025 mg/dm^3), whereas in pike, this parameter decreased only at the lower concentration (by 31.7 %) and returned to control values at the higher concentration. A similar trend was recorded for hemoglobin content, which decreased in crucian carp by 4.2 % and 7.0 %, and in pike by 19.8 % and 2.8 %, respectively. The hematocrit value increased in crucian carp (by 21.2 % and 12.1 %), while in pike, a slight reduction was noted. Serum protein concentration increased in both species at all exposure levels (in crucian carp by 50.7 % and 28.9 %, in pike by 19.6 % and 25.9 %), indicating the mobilization of compensatory adaptive mechanisms or liver protein degradation. Cadmium accumulation in the blood of fish was not detected. The results confirm the high value of hematological parameters as functional biomarkers for monitoring the state of the environment and aquatic ecotoxicology.

Keywords: *crucian carp, pike, hematological indicators, cadmium.*