

ІХТІОЛОГІЯ

УДК 546.732 : (597.551.2+597.552.1)

doi: 10.25128/2078-2357.23.3–4.7

Н. О. ВОВЧЕК, Г. М. ГОЛІНЕЙ, В. О. ХОМЕНЧУК, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

ВПЛИВ ПІДВИЩЕНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ІОНІВ Co^{2+} НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ У ПРІСНОВОДНИХ РИБ

У модельних умовах досліджено морфометричні показники карася сріблястого (*Carassius auratus gibelio* Bloch.) і щуки звичайної (*Esox lucius* L.) за дії сублетальних концентрацій іонів Co^{2+} (0,1 та 0,25 мг/дм³). У результаті аналізу морфометричних характеристик встановлено, що у досліджуваних видів риб значення більшості розмірних показників не відрізняються від контрольних. Проте встановлено достовірне зменшення показників постдорсальної відстані, довжини хвостового стебла та висоти спинного плавця у карася за дії 0,1 мг/дм³ іонів Co^{2+} . Вплив 0,25 мг/дм³ іонів кобальту (II) викликав у *Carassius auratus gibelio* зменшення вентроанальної відстані, висоти лоба і спинного плавця, а також збільшення довжини черевного та основи анального плавця. Відмічено тенденцію до зниження маси печінки та достовірне зменшення маси нирок карася за дії 0,25 мг/л іонів металу. Встановлено зниження коефіцієнтів великоголовості, широкоспинності та вгодованності за впливу 0,1 мг/дм³, а також була виявлена тенденція до зниження печінково-соматичного індексу із зростанням концентрації іонів металу в середовищі інкубації. У *Esox lucius* зафіксовано зменшення показників ширини лоба та довжини основи анального плавця за дії 0,1 мг/дм³ іонів кобальту. За дії 0,25 мг/дм³ іонів металу спостережено зростання антедорсальної та антепектральної відстаней, довжин грудного та черевного плавця. На відміну від карася, у щуки мало місце зростання маси печінки риб із збільшенням концентрації іонів Co^{2+} у воді. Дія сублетальних концентрацій кобальту призводила до зростання печінково-соматичного індексу та індексів обхвату й прогинності в щуки. Коефіцієнти вгодованності та широкоспинності зменшувалися із зростанням концентрації іонів кобальту в середовищі аклімації риб. Встановлено, що морфометричні показники характеризуються видовою специфікою і в поєднанні з фізіолого-біохімічними показниками можуть слугувати біомаркерами для оцінки стану організму риб та рівня забрудненості прісноводних екосистем металами.

Ключові слова: кобальт, прісноводні риби, морфометричний аналіз.

Прісноводні екосистеми є надзвичайно вразливими до численних антропогенних впливів і є одними з найбільш чутливих екосистем на нашій планеті [5, 15]. Вони також є одними з найбільш змінених ландшафтів на Землі внаслідок забору води та регулювання річок, інтродукції екзотичних видів і, особливо, забруднення підприємств промисловості та сільського господарства [5, 13].

Серед забруднювачів, сполуки металів, що у великих кількостях надходять у поверхневі води, є найбільш небезпечними для водної біоти через їх високу біологічну активність [17].

Серед важких металів кобальт є важливим есенціальним елементом, що трапляється у водному середовищі в низьких концентраціях. Проте, якщо концентрації металу перевищують біологічно необхідні, кобальт може викликати низку токсичних ефектів [7, 10].

Ускладнюється оцінка забруднення водойм металом ще і тим, що нормативні стандарти якості води для кобальту розроблені недостатньо навіть для Європейського Союзу та США [14]. Тому надзвичайно актуальним є питання моніторингу кобальту в компонентах гідроекосистем.

Як біоіндикатори стану прісноводних екосистем активно використовують рибу. Вони мешкають у товщі води, куди потрапляють хімічні та біологічні забруднювачі, і впливають на різноманітні параметри їх організму. Більшість видів риби мають тривалий термін життя (2–10 років) і можуть відобразити як коротко-, так і довгострокові зміни показників водного середовища [3].

Розмірні та масові характеристики тіла риби, а також співвідношення їх показників, є важливими характеристиками, що можуть відобразити як стан організму, так і екологічну ситуацію у водних екосистемах [4].

Тому метою роботи стало дослідження в модельних умовах морфометричних показників карася сріблястого (*Carassius auratus gibelio* Bloch.) і щуки звичайної (*Esox lucius* L.) за дії сублетальних концентрацій іонів Co^{2+} .

Матеріали та методи досліджень

Для дослідження використовували карася сріблястого і щуку звичайну дворічного віку з середньою масою 260–290 г та 100–130 г відповідно.

Рибу утримували в акваріумах об'ємом 200 дм³ з відстояною водопровідною водою (вміст O_2 – $7,5 \pm 0,5$ мг/дм³; CO_2 – $2,5 \pm 0,3$ мг/дм³; рН – $7,8 \pm 0,1$; загальна твердість – $6,8 \pm 0,1$ ммоль/л).

Досліджували вплив на рибу кобальту у двох концентраціях – 0,1 та 0,25 мг/дм³. Ці концентрації є такими, що в більшості випадків використовують в дослідженнях для вивчення водних інтоксикацій і які викликають формування в організмі риби адаптивної реакції на стрес-чинник [12, 14].

Метал вносили в воду 200-літрових акваріумів, де знаходилися дослідні групи риби (по 5 особин у кожному), у вигляді $CoCl_2 \cdot 6H_2O$. Контролем служили величини досліджуваних показників тканин риби, які перебували у воді акваріумів без додавання солі кобальту (II).

З метою зниження впливу на рибу їх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали щодобово. Для досягнення стану розвитку та максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до металу аклімацію риби здійснювали протягом 14 діб.

Після цього терміну було визначено та проаналізовано розмірні характеристики риби та їх основні індекси. Морфометричні показники риби визначали за стандартними методиками [1].

Усі дослідження на тваринах були проведені відповідно до закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (від 21.02.2006 р.) та принципів «Міжнародної Європейської конвенції по захисту хребетних тварин, які використовуються з експериментальною та іншою науковою метою» (Страсбург, 1986). Отримані результати були опрацьовані статистично з використанням пакету «Microsoft Excel».

Результати досліджень та їх обговорення

Морфологічні показники риби впливають на низку фізіологічних показників (наприклад, дихання та ріст) і є визначальними у тому, як організми взаємодіють із середовищем свого існування [12]. Їх значення можуть змінюватися залежно від параметрів водного середовища, і тому розмірні характеристики здатні відобразити рівень забрудненості середовища, у тому числі металами. Це, як вважають науковці [8, 9], насамперед пов'язано зі зміною харчової поведінки риби, гормональними порушеннями та витратами пластичних ресурсів (насамперед ліпідів) на процеси, пов'язані з контролем надходженням, зв'язуванням та виведенням металів.

Аналіз морфометричних результатів показав, що в карася значення більшості розмірних показників не відрізняються від контролю (табл. 1). Разом з тим, за дії 0,1 мг/дм³ іонів Co^{2+} зафіксовано достовірне зменшення показників постдорсальної відстані, довжини хвостового стебла та висоти спинного плавця у карася. Порушення функції плавників або змінена форма

БОТАНІКА

тіла за інтоксикації металами можуть вплинути на здатність плавати, ефективність годування та уникнення хижаків [11].

Таблиця 1

Морфометрична характеристика карася за дії сублетальних концентрацій іонів Co^{2+} ($M \pm m$, $n=7$)

Показники	Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
L – абсолютна, або зоологічна, довжина /ab/	26,12±0,41	25,00±0,55	25,10±0,35
L – відстань від вершини риля до кінця лускового покриву /ad/	21,10±0,28	21,78±0,61	20,63±0,21
lcor – довжина тулуба (od)	16,18±0,10	15,48±0,41	16,10±0,19
lr – довжина риля (an)	1,73±0,08	1,60±0,06	1,70±0,04
do – діаметр ока (pr)	0,83±0,02	0,83±0,03	0,85±0,03
po – позаочний простір (po)	3,03±0,13	2,95±0,06	3,00±0,04
ho – висота лоба (ln ₁)	1,18±0,06	0,98±0,05	0,95±0,03*
io – ширина лоба (інтерорбітальна відстань) (n ₁ n ₂)	2,60±0,08	2,50±0,06	2,45±0,06
mx – довжина верхньої щелепи (aa ₂)	1,53±0,06	1,50±0,04	1,38±0,02*
mn – довжина нижньої щелепи (kk ₁)	1,15±0,03	1,13±0,02	1,15±0,03
lc – довжина голови (ao)	5,53±0,13	5,28±0,10	5,18±0,16
H – найбільша висота тіла (gg)	8,58±0,29	8,48±0,25	8,68±0,25
h – найменша висота тіла, або висота хвостового стебла (ii ₁)	3,38±0,09	3,35±0,06	3,40±0,06
ad – антедорсальна відстань (aq)	10,23±0,23	10,38±0,16	10,23±0,25
pD – постдорсальна відстань (rd)	4,01±0,04	3,63±0,08*	3,80±0,11
pl – довжина хвостового стебла (fd)	3,53±0,7	3,28±0,06*	3,30±0,08
aP – антепектральна відстань (av)	5,97±0,15	5,70±0,08	5,58±0,07
av – антевентральна відстань (az)	10,20±0,24	9,93±0,23	10,05±0,04
aA – антеанальна відстань (ay)	15,80±0,4	15,60±0,47	15,78±0,13
ID – довжина основи спинного плавця (qs)	7,90±0,12	7,75±0,26	8,05±0,03
hD – висота спинного плавця (tt ₁)	3,90±0,12	3,38±0,10*	3,38±0,06*
IA – довжина основи анального плавця (yy ₁)	2,35±0,04	2,48±0,06	2,55±0,02*
hA – висота анального плавця (jj ₁)	3,08±0,03	2,93±0,13	3,18±0,07
IP – довжина грудного плавця (vv ₁)	3,60±0,10	3,53±0,04	3,58±0,02
IV – довжина черевного плавця (zz ₁)	3,80±0,06	4,12±0,10	4,12±0,06*
PV – пектровентральна відстань (vz)	4,50±0,10	4,56±0,15	4,28±0,03
VA – вентроанальна відстань (zy)	6,70±0,04	6,38±0,21	6,15±0,06*
IC₁ – довжина верхньої лопаті хвостового плавця (d ₁ b ₁)	5,33±0,10	5,15±0,13	5,28±0,12
IC₂ – довжина нижньої лопаті хвостового плавця (d ₂ b ₂)	5,45±0,09	5,43±0,09	5,47±0,10
iH – найбільша товщина тіла	4,00±0,06	3,85±0,10	3,90±0,08
Ccor – охоплення тіла	19,60±0,37	19,78±0,93	20,30±0,43
1.1. – число лусок в бічній лінії	30±1	29±1	29±1
Squ₁ – число лусок над бічною лінією	6±1	6±1	6±1
Squ₂ – число лусок під бічною лінією	6±1	7±1	7±1
Squ pl – число лусок на хвостовому стеблі	8±1	7±1	6±1
Маса риб, г	287,75±13,61	262,50±20,48	271,0±10,26
Маса печінки, г	30,90±0,91	29,13±3,37	27,88±0,94
Маса нирок, г	1,37±0,04	1,39±0,17	1,17±0,04*
Індекс великоголовості	26,4±0,4	24,4±0,4*	25,0±0,7
Індекс прогністості (високоспинності)	247,3±9,8	257,1±4,7	238,3±5,6
Індекс обхвату (компактності)	92,6±1,9	90,6±2,3	97,8±2,2
Індекс відносної товщини тіла (широкоспинності)	19,0±0,16	17,7±0,3*	18,9±0,3
Коефіцієнт вгодованості за Т. Фультоном	3,05±0,04	2,55±0,14*	2,96±0,08
Індекс печінки риб (печінково-соматичний індекс)	10,8±0,2	10,5±0,6	10,3±0,5

Вплив 0,25 мг/дм³ іонів кобальту (II) викликав у риб зменшення вентроанальної відстані, висоти лоба і спинного плавця, а також збільшення довжини черевного та основи анального плавців. За впливу сублетальних концентрацій іонів кобальту виявлено тенденцію до зниження маси печінки та достовірне зменшення маси нирок карася за дії 0,25 мг/л іонів металу.

Токсичність металів взагалі та кобальту зокрема може призвести до пошкодження внутрішніх органів, таких як печінка та нирки. Ці органи відіграють важливу роль у функціях основного обміну речовин та провідну роль у накопиченні, біотрансформації та виведенні токсикантів у риб [6].

При аналізі основних індексів у карася було встановлено зниження коефіцієнтів великоголовості, широкоспинності та вгодованності за впливу 0,1 мг/дм³, а також була відмічена тенденція до зниження печінково-соматичного індексу із зростанням концентрації іонів металу в середовищі інкубації.

Очевидно, що дія сублетальних концентрацій іонів кобальту спричинює фізіологічний стрес у риб, що зі свого боку відображається на морфологічних показниках та робить рибу більш сприйнятливою до захворювань і менш стійкою до чинників зовнішнього середовища [2].

Відомо, що реакції риб на токсичні речовини можуть змінюватися залежно від концентрації полютанта, тривалості впливу, виду риб та стадії їх розвитку [11, 16]. Аналіз морфологічних показників у щуки, як і у карася, виявив незначні відмінності між дослідними та контрольними групами (табл. 2).

Разом з тим, було зафіксовано зменшення показників ширини лоба та довжини основи анального плавця за дії 0,1 мг/дм³ іонів кобальту. За дії 0,25 мг/дм³ іонів металу виявлено зростання антедорсальної та антепектральної відстаней, довжин грудного та черевного плавців. Також слід відмітити, що, на відміну від карася, мало місце зростання маси печінки досліджених риб із збільшенням концентрації іонів Co²⁺ у воді.

Таблиця 2

Морфометрична характеристика щуки за дії сублетальних концентрацій іонів Co²⁺ (M±m, n=7)

Показники	Контроль	0,1 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³
L – абсолютна, або зоологічна, довжина /ab/	27,30±0,21	27,54±0,77	28,18±0,46
l – відстань від вершини рила до кінця лускового покриву /ad/	23,70±0,21	23,88±0,68	24,70±0,47
lcor – довжина тулуба (od)	16,60±0,28	16,56±0,49	17,20±0,28
lr – довжина рила (an)	3,03±0,16	3,14±0,07	3,38±0,10
do – діаметр ока (nr)	1,18±0,02	1,12±0,04	1,13±0,02
po – позаочний простір (po)	3,05±0,18	3,30±0,10	3,35±0,06
io – ширина лоба (нтерорбітальна відстань) (n ₁ n ₂)	1,60±0,02	1,50±0,03*	1,58±0,02
mx – довжина верхньої щелепи (aa ₂)	3,35±0,09	3,28±0,08	3,40±0,04
mn – довжина нижньої щелепи (kk ₁)	3,62±0,08	3,52±0,06	3,66±0,04
lc – довжина голови (ao)	7,45±0,08	7,36±0,18	7,67±0,15
H – найбільша висота тіла (gg)	3,75±0,06	3,6±0,04	3,58±0,03
h – найменша висота тіла, або висота хвостового стебла (ii ₁)	1,53±0,02	1,56±0,02	1,56±0,03
ad – антедорсальна відстань (aq)	17,28±0,17	17,50±0,50	18,05±0,20*
pD – постдорсальна відстань (rd)	3,53±0,03	3,44±0,18	3,50±0,07
pl – довжина хвостового стебла (fd)	3,42±0,04	3,36±0,09	3,53±0,04
aP – антепектральна відстань (av)	7,25±0,17	7,38±0,22	8,18±0,10*
av – антевентральна відстань (az)	12,67±0,18	13,00±0,32	13,38±0,39
aA – антеанальна відстань (ay)	18,50±0,23	18,48±0,52	18,90±0,30
ID – довжина основи спинного плавця (qs)	3,25±0,09	3,22±0,10	3,40±0,10
hD – висота спинного плавця (tt ₁)	2,90±0,05	3,06±0,02	3,02±0,02
lA – довжина основи анального плавця (yy ₁)	2,60±0,06	2,34±0,05*	2,48±0,03
hA – висота анального плавця (jj ₁)	2,60±0,03	2,76±0,09	2,75±0,06
lP – довжина грудного плавця (vv ₁)	2,80±0,06	2,8±0,07	3,03±0,02*
lV – довжина черевного плавця (zz ₁)	2,75±0,08	2,78±0,09	3,00±0,06*
PV – пектровентральна відстань (vz)	5,90±0,17	5,5±0,22	6,00±0,04

<i>Продовження таблиці 2</i>			
VA – вентроанальна відстань (zy)	5,65±0,10	5,48±0,15	5,58±0,07
IC ₁ – довжина верхньої лопаті хвостового плавця (d ₁ b ₁)	3,60±0,04	3,54±0,12	3,87±0,12
IC ₂ – довжина нижньої лопаті хвостового плавця (d ₂ b ₂)	3,78±0,02	3,72±0,12	3,98±0,12
iH – найбільша товщина тіла	2,30±0,05	2,26±0,06	2,25±0,03
Ccor – охоплення тіла	10,04±0,19	9,82±0,27	10,00±0,16
Маса, г	104,23±5,56	108,4±6,64	118,50±7,31
Печінка, г	0,88±0,05	1,00±0,08	1,10±0,06*
Індекс великоголовості	31,4±0,4	30,9±0,5	31,1±0,3
Індекс прогністості (високоспинності)	635,6±11,0	663,0±13,0	685,1±10,6*
Індекс обхвату (компактності)	42,4±0,4	41,2±0,8	40,5±0,7*
Індекс відносної товщини тіла (широкоспинності)	9,8±0,2	9,5±0,2	9,2±0,1*
Коефіцієнт вгодованості за Т. Фультоном	0,81±0,03	0,79±0,02	0,77±0,04
Індекс печінки риб (печінково-соматичний індекс)	0,84±0,06	0,95±0,06	0,96±0,10

Дія сублетальних концентрацій кобальту призводила до зростання печінково-соматичного індексу та індексів обхвату та прогністості. Водночас коефіцієнти вгодованості за Т. Фультоном та широкоспинності зменшувалися із зростанням концентрації іонів кобальту в середовищі аклімації риб. Ймовірно, за інтоксикації металом у щуки має місце перерозподіл енергетичних та пластичних ресурсів між м'язами та печінкою з метою протидії токсичному чиннику.

Висновки

Отже, в цілому дія сублетальних концентрацій іонів кобальту мало модифікує розмірні характеристики риб, що може бути пов'язано з порівняно незначним терміном аклімації. Водночас зміна значень основних індексів, насамперед печінково-соматичного та вгодованості, характеризуються видовою специфікою і в поєднанні з фізіолого-біохімічними показниками можуть слугувати для оцінки стану організму риб та рівня забрудненості прісноводних екосистем металами.

1. Пилипенко Ю. В., Шевченко П. Г., Цедик В. В. та ін. *Методи іхтіологічних досліджень: навчальний посібник*. Херсон, 2017. 432 с.
2. Adams S. M., Greeley M. S. Ecotoxicological indicators of water quality: Using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. *Water, air and soil pollution*. 2000. Vol. 123. P. 103–115.
3. Authman M. M., Zaki M. S., Khallaf E. A., Abbas H. H. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2015. Vol. 6(4). P. 1–13. DOI:10.4172/2155-9546.1000328.
4. Brosset P., Averty A., Mathieu-Resuge M., Schull Q., Soudant P., Lebigre C. Fish morphometric body condition indices reflect energy reserves but other physiological processes matter. *Ecological Indicators*. 2023, Vol. 154, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110860>
5. Dudgeon D. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Curr. Biol.* 2019. Vol. 29. P. R960–R967. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>.
6. Figueiredo-Fernandes A, Fontainhas-Fernandes A, Rocha E, Reis-Henriques M. A. Effects of gender and temperature on hepatic EROD activity, liver and gonadal histology in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to paraquat. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2006. Vol. 51. P. 626–632. DOI: 10.1007/s00244-005-0208-3.
7. Hamilton E. I. The geobiochemistry of cobalt. *Sci Total Environ*. 1994. Vol. 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).
8. Hayat S., M. Javed, S. Razzaq. Growth performance of metal stressed major carps viz. *Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala* reared under semi-intensive culture system. *Pak. Vet. J.* 2007. Vol. 27. P. 8–12.
9. James R., Sampath K. and Edward D.S. Copper toxicity, growth and reproductive potential in an ornamental fish, *Xiphophorus helleri*. *Asian Fish. Sci.* 2003. Vol. 16. P. 317–326.
10. Li X., Lin H., Zhu Z., Ray G. W., Zhou S., Yang Q., Tan B. Effects of Cobalt Sources and Levels on Growth Performance, Serum Biochemistry, Metabolic Activities, and Cobalt Contents in the Tissue of

- Juvenile *Litopenaeus vannamei*. *North American Journal of Aquaculture*. 2022. Vol. 84 (3). P. 336–344. <https://doi.org/10.1002/naaq.10243>.
11. Mziray P., Kimirei I. A. Bioaccumulation of heavy metals in marine fishes (*Siganus sutor*, *Lethrinus harak*, and *Rastrelliger kanagurta*) from Dar es Salaam Tanzania. *Regional Studies in Marine Science*. 2016. Vol. 7. P. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.05.014>.
 12. Nasri F., Heydarnejad S., Nematollahi A. Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croatian journal of fisheries*. 2019. Vol. 77 (4). P. 243–252. DOI: 10.2478/cjf-2019-0018.
 13. Rundle S. Threats to the Running Water Ecosystems of the World. *Environmental Conservation*. 2002. Vol. 29. P. 134–153. DOI: 10.1017/S0376892902000097.
 14. Stubblefield W. A., Genderen E. V., Cardwell A. S., Heijerick D. G., Janssen C. R., De Schampelaere K.A.C. Acute and Chronic Toxicity of Cobalt to Freshwater Organisms: Using a Species Sensitivity Distribution Approach to Establish International Water Quality Standards. *Environ Toxicol Chem*. 2020. Vol. 39. P. 799–811. <https://doi.org/10.1002/etc.4662>.
 15. Tickner D., Opperman J. J., Abell R., Acreman M., Arthington A. H., Bunn S. E., Cooke S. J., Dalton J., Darwall W., Edwards G., Harrison I. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience*. 2020. Vol. 70(4). P. 330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>.
 16. Weber P., Behr E. R., Knorr C. De L., Vendruscolo D. S., Flores E.M.M., Dressler V. L., Baldissertotto B. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. *Microchemical Journal*. 2013. Vol. 106. P. 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.05.004>.
 17. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. *Fish Physiology*. London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. P. 1–497.

References

1. Pylypenko Yu. V., Shevchenko P. H., Tsedyk V. V. ta in. *Metody ikhtiologichnykh doslidzhen: navchalnyi posibnyk*. Kherson, 2017. 432 s. [in Ukrainian]
2. Adams S. M., Greeley M. S. Ecotoxicological indicators of water quality: Using multi-response indicators to assess the health of aquatic ecosystems. *Water, air and soil pollution*. 2000. Vol. 123. P. 103–115.
3. Authman M. M., Zaki M. S., Khallaf E. A., Abbas H. H. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2015. Vol. 6(4). P. 1–13. DOI:10.4172/2155-9546.1000328.
4. Brosset P., Averty A., Mathieu-Resuge M., Schull Q., Soudant P., Lebigre C. Fish morphometric body condition indices reflect energy reserves but other physiological processes matter. *Ecological Indicators*. 2023, Vol. 154, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110860>.
5. Dudgeon D. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Curr. Biol*. 2019. Vol. 29. P. R960–R967. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>.
6. Figueiredo-Fernandes A, Fontainhas-Fernandes A, Rocha E, Reis-Henriques M. A. Effects of gender and temperature on hepatic EROD activity, liver and gonadal histology in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to paraquat. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2006. Vol. 51. P. 626–632. DOI: 10.1007/s00244-005-0208-3.
7. Hamilton E. I. The geobiochemistry of cobalt. *Sci Total Environ*. 1994. Vol. 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).
8. Hayat S., M. Javed, S. Razzaq. Growth performance of metal stressed major carps viz. *Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala* reared under semi-intensive culture system. *Pak. Vet. J*. 2007. Vol. 27. P. 8–12.
9. James R., Sampath K. and Edward D.S. Copper toxicity, growth and reproductive potential in an ornamental fish, *Xiphophorus helleri*. *Asian Fish. Sci*. 2003. Vol. 16. P. 317–326.
10. Li X., Lin H., Zhu Z., Ray G. W., Zhou S., Yang Q., Tan B. Effects of Cobalt Sources and Levels on Growth Performance, Serum Biochemistry, Metabolic Activities, and Cobalt Contents in the Tissue of Juvenile *Litopenaeus vannamei*. *North American Journal of Aquaculture*. 2022. Vol. 84 (3). P. 336–344. <https://doi.org/10.1002/naaq.10243>.
11. Mziray P., Kimirei I. A. Bioaccumulation of heavy metals in marine fishes (*Siganus sutor*, *Lethrinus harak*, and *Rastrelliger kanagurta*) from Dar es Salaam Tanzania. *Regional Studies in Marine Science*. 2016. Vol. 7. P. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.05.014>.
12. Nasri F., Heydarnejad S., Nematollahi A. Sublethal cobalt toxicity effects on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Croatian journal of fisheries*. 2019. Vol. 77 (4). P. 243–252. DOI: 10.2478/cjf-2019-0018.
13. Rundle S. Threats to the Running Water Ecosystems of the World. *Environmental Conservation*. 2002. Vol. 29. P. 134–153. DOI: 10.1017/S0376892902000097.

14. Stubblefield W. A., Genderen E. V., Cardwell A. S., Heijerick D. G., Janssen C. R., De Schampelaere K.A.C. Acute and Chronic Toxicity of Cobalt to Freshwater Organisms: Using a Species Sensitivity Distribution Approach to Establish International Water Quality Standards. *Environ Toxicol Chem.* 2020. Vol. 39. P. 799–811. <https://doi.org/10.1002/etc.4662>.
15. Tickner D., Opperman J. J., Abell R., Acreman M., Arthington A. H., Bunn S. E., Cooke S. J., Dalton J., Darwall W., Edwards G., Harrison I. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience.* 2020. Vol. 70(4). P. 330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>.
16. Weber P., Behr E. R., Knorr C. De L., Vendruscolo D. S., Flores E.M.M., Dressler V. L., Baldissotto B. Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river. *Microchemical Journal.* 2013. Vol. 106. P. 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.05.004>.
17. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. *Fish Physiology.* London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. P. 1–497.

N. O. Vovchek, H. M. Holinei, V. O. Khomenchuk, V. Z. Kurant
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

INFLUENCE OF INCREASED CONCENTRATIONS OF CO²⁺ IONS ON THE MORPHOMETRIC INDICATORS IN FRESHWATER FISH

In model conditions the morphometric indicators of silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio* Bloch.) and common pike (*Esox lucius* L.) under the influence of sublethal concentrations of Co²⁺ ions (0.1 and 0.25 mg/dm³) were investigated. As a result of the analysis of morphometric characteristics, it was established that the values of most of the size indicators of the studied fish species do not differ from the control. However, a significant decrease in the parameters of the postdorsal distance, the length of the tail stem and the height of the dorsal fin in crucian carp was established under the influence of 0.1 mg/dm³ of Co²⁺ ions. Exposure to 0.25 mg/dm³ of cobalt (II) ions caused in *Carassius auratus gibelio* a decrease in the ventroanal distance, the height of the forehead and dorsal fin, as well as an increase in the length of the ventral and base of the anal fin. A tendency to decrease in liver mass and a significant decrease in crucian carp kidney mass under the action of 0.25 mg/dm³ metal ions was noted. A decrease in the coefficients of large-headedness, broad-backedness and fatness was established under the influence of 0.1 mg/dm³, and a tendency to decrease in the hepatic-somatic index with increasing concentration of metal ions in the incubation medium was noted. In *Esox lucius* there was a decrease in the width of the forehead and the length of the base of the anal fin under the influence of 0.1 mg/dm³ of cobalt ions. Under the action of 0.25 mg/dm³ of metal ions, an increase in antedorsal and antepectral distances, pectoral and ventral fin lengths was observed. In contrast to crucian carp, in pike there was an increase in the weight of fish liver with an increase in the concentration of Co²⁺ ions in the water. The effect of sublethal concentrations of cobalt led to an increase in the liver-somatic index and indices of girth and deflection in pike. The coefficients of fatness and broad-backedness decreased with increasing concentration of cobalt ions in the fish acclimation medium. It has been established that morphometric indicators are characterized by species specificity and in combination with physiological and biochemical indicators can serve as biomarkers for assessing the state of the fish organism and the level of contamination of freshwater ecosystems with metals.

Key words: cobalt, freshwater fish, morphometric analysis.

Надійшла 28.11.2023.