

УДК 567.5: 546.72

О. О. РАБЧЕНЮК, В. О. ХОМЕНЧУК, Б. З. ЛЯВРІН, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

## **НАКОПИЧЕННЯ ФЕРУМУ В ОРГАНІЗМІ ПРІСНОВОДНИХ РИБ ЗА ЙОГО ПІДВИЩЕНОГО ВМІСТУ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Досліджено накопичення та перерозподіл феруму в організмі прісноводних риб за його підвищеного вмісту у воді (2 і 5 ГДК). Показано, що найбільшу кількість феруму виявлено в печінці та зябрах як коропа, так і щуки. Крім того, значна кількість металу міститься в нирках щуки. У м'язах досліджуваних видів риб концентрація феруму незначна, що може свідчити про міжорганний перерозподіл цього елемента.

В цілому слід зазначити, що накопичення важких металів у риб є активним, регульованими і тканино-специфічним процесом, інтенсивність якого залежить від концентрації металу у воді, його будови і хімічних властивостей, фізико-хімічних параметрів водного середовища, а також від фізіолого-біохімічних особливостей організму риб.

*Ключові слова:* водне середовище, ферум, накопичення, короп, щука

Сполуки металів відграють важливу роль у розвитку всіх живих організмів. В даний час біля 25 хімічних елементів із групи металів є есенціальними, тобто необхідними для нормальної життєдіяльності гідробіонтів, включно риб [2, 13, 14]. Входячи до складу багатьох органічних речовин, або вступаючи з ними у взаємодію, метали впливають на перебіг багатьох біохімічних процесів. Іони металів здатні утворювати в тканинах міцні зв'язки з різними біологічно активними центрами. Значною мірою їх дія пов'язана з ферментами, які містять у своєму складі іони металів, або активуються ними [5, 10].

Як мікроелементи метали впливають на низку важливих біохімічних процесів в організмі риб [3, 6, 23]. Такий вплив може бути стимулюючим, пригнічуючим або нейтральним, залежно від природи металу, концентрації та форми його існування у воді. Біологічна функція металів здійснюється при досить низьких їх концентраціях. Присутність металів у кількостях, що перевищують необхідний рівень, стає причиною порушення нормального перебігу процесів життєдіяльності. Крім того, зростання вмісту важких металів у водному середовищі призводить до надмірного їх акумулювання водними організмами, зокрема рибами [7, 19].

Значний інтерес становлять важкі метали, які широко застосовуються у різних галузях виробничої діяльності людини та є важливими для гідробіонтів. До таких металів відноситься і ферум. Вміст феруму у земній корі складає 4,65 % (за масою). Це четвертий за поширенням елемент після кисню, силіцію та алюмінію [12]. Ферум зустрічається у вигляді різних сполук – оксидів, сульфідів, силікатів. Високий кларк цього елемента обумовлений його постійною присутністю в природних водах, при чому концентрація його в них може коливатися в досить широких межах: від мікрограмів до міліграмів в одному літрі [4, 20]. До природних процесів, які зумовлюють надходження сполук феруму в поверхневі води слід віднести процеси хімічного вивітрювання гірських порід, підземні стоки, а також промислові та сільськогосподарські стічні води [12].

Ферум є необхідним елементом для нормальної життєдіяльності усіх гідробіонтів, включно риб. Недостатність цього металу може бути лімітуючим чинником розвитку організму. Входячи до складу молекул порфіринів та білків – основних носіїв кисню, ферум приймає активну участь у біохімічних реакціях окиснення-відновлення, які проходять в живому організмі [15].

Цей хімічний елемент, який міститься в організмі риб поділяють на дві групи: геміновий та негеміновий ферум. Перша група включає ферум хромопротеїдів (дихальні білки – гемоглобін, хлорокруарин, гелікорубін, а також білок м'язів – міоглобін), а також дихальних

ферментів (цитохроми, цитохромоксидази, пероксидази, кетолази). До другої групи входить ферум низки речовин, які не містять гемоферумпорфіринового комплексу (геморетрин).

Певна кількість резервного феруму депонується в печінці та селезінці у вигляді складних ферумбілкових комплексів феритину та гемосидерину і використовуються на утворення пігменту крові. Цей ферум не стимулює еритропоез, але лише служить вихідним матеріалом для синтезу гемоглобіну [3]. Але найважливішою, на нашу думку та думку багатьох учених, є участь феруму у функціонуванні ферментів, які беруть участь у ланцюзі транспорту електронів, які є основою аеробного дихання організмів [26].

Біонакопичення феруму здійснюється за низьких концентрацій. Нестача його може викликати низку захворювань або призвести до смерті. Однак біонакопичення може становити потенційну небезпеку навіть при незначному зростанні концентрації металу у воді. Це пов'язане з тим, що біологічна функція металів в організмі риб здійснюється за низьких концентрацій, а надмірне їх акумулювання може призвести до хронічного чи гострого отруєння [26].

Виходячи з усього сказаного метою нашої роботи стало вивчення накопичення іонів феруму в тканинах коропа та щуки за дії їх підвищених концентрацій (2 та 5 ГДК).

### Матеріал і методи досліджень

Об'єктом дослідження служили короп (*Cyprinus carpio* L.) та щука (*Esox Lucius* L.) дворічного віку масою 300-350 г. Для дослідження риб відбирали зі ставка безпосередньо перед експериментом. Після цього їх транспортували в лабораторію, де вони утримувалися протягом 2-3 діб для адаптації в нових умовах. Експерименти проводили в 200-літрових акваріумах. Вивчали вплив іонів  $Fe^{3+}$  у двох концентраціях які відповідали 2 та 5 рибогосподарським гранично допустимим концентраціям (ГДК) [1]. Ферум вносили в воду у вигляді солі  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . При цьому концентрації металу, в перерахунку на іони, складали 0,2 та 0,5 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Аклімацію риб до дії чинника здійснювали протягом 14 діб. Цей період за даними автора [18], є достатнім для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин. Воду в акваріумах змінювали щодобово, вносячи при цьому зазначені концентрації металу. Під час експерименту риб не годували.

Згідно поставлених завдань для дослідження відбирали тканини зябер, печінки, білих м'язів та нирок. Після препаратії органів наважки тканин спалювали в перегнаній нітратній кислоті у співвідношенні 1:5 (маса: об'єм). Вміст феруму визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М і виражали в міліграмах на кілограм вологої маси тканин.

Всі одержані дані піддавали статистичній обробці з використанням t-критерію Стьюдента для визначення достовірної різниці [11].

### Результати досліджень та їх обговорення

Проникнення та накопичення важких металів в організмі риб є багатовекторним процесом і залежить від багатьох зовнішніх та внутрішніх чинників. Молекулярні механізми їх надходження ще недостатньо вивчені. Проте відомо, що основна частина металів потрапляє в організм двома основними шляхами – через шлунково-кишковий тракт та зябра, між якими існує чітка взаємодія щодо регуляції кількості надходження металу в організм [22]. Дані особливості обумовлюють різну спорідненість окремих тканин до того чи іншого металу, а отже і різну здатність до акумулювання.

Із одержаних даних видно, що найбільший вміст феруму виявлено в печінці та зябрах як коропа, так і щуки. При цьому значний вміст досліджуваного металу міститься і в нирках щуки (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Вміст іонів феруму в тканинах коропа (мг/кг сирової тканини,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Групи риб	Зябра	Печінка	М'язи	Нирки
Контроль	87,1±8,2	154,0±8,1	39,8±3,1	87,4±6,6
2 ГДК	100,8±7,8	142,9±16,5	26,2±6,7	70,5±3,4*
5 ГДК	132,4±5,2*	143,4±12,8	36,5±2,4	61,7±6,6*

Зябра риб є органом, який безпосередньо контактує з водним середовищем і через залозистий апарат якого метали шляхом активної фільтрації потрапляють в організм. Існує думка, що основним місцем проходження через залозистий апарат зябер є хлоридні клітини [8]. Проте існує припущення, що деякі важкі метали проникають в клітини зябрового епітелію прісноводних риб через кальцієві канали в апікальній мембрані [25].

Таблиця 2

Вміст іонів феруму в тканинах щуки (мг/кг сирової тканини,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Групи риб	Зябра	Печінка	М'язи	Нирки
Контроль	147,1±18,8	349,3±21,0	43,6±5,2	142,5±14,5
2 ГДК	250,6±17,0	384,3±17,2	62,9±5,4*	95,88±15,0*
5 ГДК	309,6±22,1*	339,9±22,4	33,6±6,5	136,7±17,3

В результаті дії підвищених концентрацій іонів феруму інтенсивність їх адсорбції зябрами змінюється. При цьому спостерігається прямопропорційне зростання акумуляції із зростанням вмісту іонів феруму у воді від 2 до 5 ГДК. Слід відмітити, що вміст досліджуваного металу в зябрах коропа контрольної групи майже вдвічі нижчий, ніж в зябрах щук цієї ж групи. За дії 2 ГДК металу у воді кількість феруму у зябрах коропа зростає на 14,9 %, а у щуки на 70,4 %. Концентрація металу у воді в кількості 5 ГДК веде до зростання цього показника у коропа на 52,0 %, а у щуки на 110,4 %.

Отже, на першому етапі акумуляції досліджуваного металу проходить досить швидке його поглинання з водного середовища в результаті сорбційних процесів чи іонно-обмінних або хімічних взаємодій з поверхневими структурами. Було показано, що до 70 % іонів металів потрапляють в організм риб саме через зябра [24].

Печінка є одним з найбільших залозистих утворень організму, яке бере участь у важливих метаболічних процесах [16]. В цьому органі також відбувається детоксикація цілої низки шкідливих для організму речовин.

Вміст феруму в печінці щуки контрольної групи риб досить значний. Він в 2,3 рази перевищує його у коропа. За дії іонів феруму в кількості 2 ГДК вміст металу в печінці щуки зростає на 10,0 %, а за дії 5 ГДК металу у воді знижується майже до контрольної величини. У коропа ж обидві досліджувані концентрації призводять до незначного зниження вмісту металу в цьому органі (біля 7 %).

Із сказаного слідує, що печінка риб є органом, який активно депонує біогенні метали, а також бере участь у детоксикації їх надлишку. Є дані про те, що в гепатоцитах іони металів, утворюючи комплекси з ферментами, беруть участь в синтезі білків, обміні нуклеїнових кислот та інших органічних сполук [16]. У відповідь на надлишкове надходження металів у організм в печінці риб ініціюється біосинтез металотіонеїнів, в яких іони металів зв'язуються з високомолекулярною фракцією білка [21]. Таким чином печінка риб виконує гомеостатичну функцію і бере активну участь у регуляції водно-сольового обміну в організмі.

На думку багатьох авторів, головним депонуючим органом у риб є скелетні м'язи [10, 14]. В наших дослідженнях виявлено невисокий вміст іонів феруму в цій тканині. По суті він найнижчий із усіх досліджуваних тканин. Проте, якщо врахувати, що у кісткових риб м'язова тканина становить до 50 % маси тіла, то загальний вміст металу у ній може бути досить значним.

Вміст феруму в м'язах риб контрольних груп у коропа та у щуки майже рівний (39,8 та 43,6 мг на кг сирової тканини відповідно). За дії підвищених концентрацій у воді вміст феруму у м'язах коропа спочатку знижується на 34,2 % (при 2 ГДК) та зростає практично до величини контрольної групи при 5 ГДК. У м'язах щуки відмічена дещо інша тенденція зміни цього показника. Так, концентрація металу у воді в кількості 2 ГДК викликає зростання вмісту феруму в м'язевій тканині щуки на 44,3 %, а у кількості 5 ГДК – веде до зниження цього показника на 22,9 %.

Наявність взаємозв'язку між вмістом металу в м'язевій тканині та його концентрації у воді не виключає можливості фізіологічної регуляції розподілу металу в організмі риб. Можливо, така регуляція відбувається не тільки шляхом обмеження депонування металу в

м'язах, але й шляхом міжорганного перерозподілу цього елемента [9]. Напевно саме тому ми не спостерігаємо певної закономірності у зміні досліджуваних показників в м'язевій тканині коропа та щуки.

Дослідження, проведені на значній кількості різних видів риб, показали, що процес накопичення металу в організмі є досить складним процесом, який складається з фаз накопичення, стабілізації та виведення [7]. Саме у останній фазі важлива роль належить ниркам.

В наших дослідженнях ми спостерігали зниження вмісту феруму в нирках коропа при 2 ГДК на 19,3 % та при 5 ГДК на 29,4 %. Слід також відмітити, що вміст цього металу в нирках коропа незначний. У риб контрольної групи він такий же як і в зябрах у цієї ж групи риб. При цьому в печінці феруму майже вдвічі більше, а в м'язах – вдвічі менше, ніж в нирках.

У щуки відмічена дещо інша закономірність зміни досліджуваних показників. Так, концентрація металу у воді в кількості 2 ГДК призводить до зниження вмісту феруму у нирках на 32,7 %, а при 5 ГДК цей показник зростає практично до контрольної величини. Виявлене явище може свідчити про наявність різних механізмів, які регулюють процеси виділення металів з організму риб. Так, було показано, що регулювання гомеостазу металів може здійснюватися як зміною інтенсивності всмоктування металу в шлунково-кишковому тракті, так і шляхом його екскреції у складі сечі та калових мас [7].

Було показано, що 90 % перорально або перентерально введеного в організм коропа цинку виводиться через шлунково-кишковий тракт, і лише 10 % - з сечею [17]. Це дозволило авторам зробити висновок про те, що у підтриманні гомеостазу цинку в організмі прісноводних риб важлива роль належить не ренальним, а екстраренальним механізмам. Можливо сказане і впливає на рівень екскреції феруму в складі сечі у досліджених нами риб. Якщо у коропа з підвищенням вмісту металу у воді ми спостерігаємо прямопропорційне зниження вмісту феруму в нирках, то у щуки такої закономірності не відмічено. Виявлене явище може свідчити про те, що у цих двох видів риб функціонують різні механізми підтримання гомеостазу металів у їх організмі.

## Висновки

Аналіз одержаних даних свідчить про певні закономірності тканинного розподілу феруму і особливості його накопичення в залежності від функціональних особливостей органів і тканин.

Загалом слід зазначити, що накопичення рибами важких металів є активним і регульованим тканинноспецифічним процесом. Інтенсивність цього процесу залежить від будови та хімічних властивостей іону металу, фізико-хімічних особливостей водного середовища, а також від фізіолого-біохімічної активності організму риб.

1. *Беспамятнов Г. П.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / Г.П. Беспамятнов, Ю.А. Кротов. — Л.: Химия, 1985. — 240 с.
2. *Ваганов А. С.* Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов у промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища / А.С. Ваганов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011. — Т. 13, № 5(2). — С. 143—146.
3. *Воробьев В. И.* Микроэлементы и их применение в рыбоводстве / В.И. Воробьев // М.: Пищевая промышленность. — 1979. - 183 с.
4. *Денисова А. И.* Фомирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. — К.: Наукова думка, 1979. — 290 с.
5. *Диксон М.* Ферменты / М. Диксон., Э. Уэбб. — М.: Мир, 1982. — Т.1. — 390 с.
6. *Евтушенко Н. Ю.* Роль макро- и микроэлементов в метаболизме пресноводных рыб: автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. биол. наук : спец. 03.00.18 «Гидробиология» / Н.Ю. Евтушенко. — М., 1985. — 41 с.
7. *Евтушенко Н. Ю.* Механизмы поступления, распределения и выведения металлов из организма рыб / Н.Ю. Евтушенко С.В. Дудник // Гидробиол. журн. — 2014. — Т. 50, № 4. — С. 63—77.
8. *Карпюк М. И.* Теория биосорбции водных животных (научные основы и практическое использование) / М.И.Карпюк, И.А.Зубченко, А.Ф.Сокольский — Астрахань, 2002. — 333 с.

9. *Курант В. З.* Роль білкового обміну в адаптації риб до дії іонів важких металів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук : спец. 03.00.10 «Іхтіологія» / В. З. Курант. — К., 2003. — 38 с.
10. *Лав М. Р.* Химическая биология рыб / М.Р. Лав. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 349 с.
11. *Лакин Г.Ф.* Биометрия / Г.Ф. Лакин. — М.:Высшая школа,1990. — 351 с.
12. *Линник П. Н.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П.Н. Линник, В.И. Набиванец. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 270 с.
13. *Моисеенко Т. И.* Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты / Т.И. Моисеенко. — М.: Наука, 2009. — 400 с.
14. *Патин С. А.* Микроэлементы в морских организмах и экосистемах / С.А. Патин, Н.П. Морозов. - М.: Легкая и пищевая пром-сть. — 1981. — 152 с.
15. *Рабченко О. О.* Ферум у водних екосистемах: форми знаходження, біологічне значення та токсичність для риб / О. О. Рабченко, В. О. Хоменчук, В. З. Курант // Наукові записки ТНПУ ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. — 2016. - №3-4 (67). — С. 77—89.
16. *Романенко В. Д.* Печень и регуляция межлужечного обмена (млекопитающие и рыбы) / В.Д. Романенко // К.: Наукова думка. — 1978. — 183 с.
17. *Романенко В. Д.* Роль отдельных органов в механизмах регуляции обмена цинка у рыб / Романенко В.Д., Мальжева Т.Д., Євтушенко Н.Ю. // Гидробиол. журн. — 1985. - Т. 21, № 3. — С. 57—62.
18. *Хлебович В. В.* Акклимация животных организмов / В.В. Хлебович. — Л.:Наука, 1981.—135 с.
19. *Хоменчук В. О.* Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.04 «Біохімія» / В. О. Хоменчук. — Львів, 2003. — 18 с.
20. *Bowen H.J.M.* Environmental chemistry of the elements / H.J.M. Bowen. — London: Acad. Press, 1979. — 333 p.
21. *Foulquier L.* Absorption et desorption du manganese par *Cyprinus carpio* L. eludices a faide du manganese / L. Foulquier, D. Assalin, A. Grauby // International Association of Theoretical and Applied Limnology. — 1972. — Vol. 18. — P. 54—58.
22. *Gastrointestinal uptake and distribution of copper in rainbow trout* / [Clearwater S.J., Baskin S.J., Wood C.M., McDonald D.G.] // J. Exp. Biol. — 2000. — Vol. 203. — P. 2455—2466.
23. *Martin B. R.* Bioinorganic chemistry of metal ion toxicity / B.R. Martin // Metal ions in biological systems. — New-York and Bassel, 1988. — Vol. 20. — P. 21—65.
24. *Protasowicki M.* Bioacumulacia Cd, Pb, Cu, Zn w karpie — *Cyprinus carpio* L. w zaleznosci od stezeja w wodzie i czasu ekspozycji / M. Protasowicki, A. Chodynecki // Lesz. nauk. ryb. mor. i technol. zyw. — Szczecin, 1988. — Vol. 17. — P. 69-84.
25. *The movement of cadmium through freshwater trout branchial epithelium and its interference with calcium transport* P. M. Verboost, J. Van Rooij, G. Flik [et all.] // Journal of Experimental Biology. — 1989. — Vol. 145. — 185—197.
26. *Wood C. M.* Homeostasis and toxicology of essential metals / C.M. Wood, A.P. Farrel, C.J. Brauner // Fish Physiol. — London: Academic Press. — 2012. — Vol. 31A. — 497 p.

*Е. А. Рабченко, В. А. Хоменчук, Б. З. Ляврин, В. З. Курант*

Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка

#### НАКОПЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В ОРГАНИЗМЕ ПРЭСНОВОДНЫХ РЫБ ПРИ ЕГО ПОВЫШЕННОМ СОДЕРЖАНИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Исследовано накопление и перераспределение железа в организме пресноводных рыб при его повышенном содержании в воде (2 и 5 ГДК). Показано, что наибольшее количество железа выявлено в печени и жабрах как карпа, так и щуки. Кроме того, значительное количество металла содержится в почках щуки. В мышцах исследуемых видов рыб концентрация железа незначительна, что может свидетельствовать об межорганном перераспределении этого элемента.

Четкой взаимосвязи между содержанием металла в тканях и его концентрацией в воде не обнаружено. Анализ полученных данных свидетельствует об определенных закономерностях тканевого распределения железа и особенностях его накопления в зависимости от функциональных особенностей органов и тканей.

В целом следует отметить, что накопление рыбами тяжелых металлов является активным, регулируемым и тканево-специфическим процессом. Интенсивность этого процесса зависит от концентрации металла в воде, его строения и химических свойств, физико-химических особенностей водной среды, а также от физиолого-биохимической активности организма рыб.

*Ключевые слова: водная среда, железо, накопление, карп, щука*

*O. O. Rabchenyuk, V. O. Khomenchuk, B. Z. Lyavrin, V. Z. Kurant*  
Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University, Ukraine

#### THE ACCUMULATION OF IRON IN ORGANISM OF FRESHWATER FISHES UNDER HIS HIGH CONTENT IN WATER ENVIRONMENT

The accumulation of iron in organism of freshwater fishes under action of higher content in water (2 and 5 MPC) was investigated. It was shown, that the greatest quantity of iron is contain in liver and gills of carp and pike. Also the great quantity of iron is located in kidney of pike. In muscles of investigated species of fishes concentration of iron is small, that attest about distribution between organs of this element.

The clear interconnection between content of metal in tissues and it concentration in water is not shown. Analysis of test results affirm about specific regularity of tissues distribution of iron and about peculiarity of it accumulation to depend on functional peculiarity of organs and tissues.

It is shown, that accumulation of heavy metals in fish organism is active and regulated tissue-specific process. The intensity of this process depends to the concentration of the metal in water, its building and chemical property, physical and chemical peculiarity of water environment, and also of physiologo-biochemical activity of fish organism.

*Keywords: water environment, iron accumulation, carp, pike*

Рекомендує до друку  
В. В. Грубінко

Надійшла 20.02.2017

УДК [504.064:577.25](564.141)

І. В. ЮРЧАК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

### **МЕТАЛ-ДЕПОНУВАЛЬНА ФУНКЦІЯ МЕТАЛОТІОНЕЇНІВ БЕЗЗУБКИ *ANODONTA ANATINA* (LINNAEUS, 1758) ЗА ВПЛИВУ НА ОРГАНІЗМ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ**

Проведено дослідження розподілу металів (Zn, Cu, Cd) у тканинах травної залози та зябер молюсків беззубки *Anodonta anatina* за участі металотіонеїнів (МТ) за впливу малої дози (2 мГр) іонізуючої радіації на організм. Встановлено, що у тканині травної залози опромінених молюсків істотно зростає вміст Zn та зменшується вміст Cu та Cd, а Zn-депонувальна здатність МТ зменшується. Профіль елюції МТ зазнає змін у обох досліджених тканинах.

*Ключові слова: металотіонеїни; двостулкові молюски; іонізуюча радіація*

Серед багатьох проблем радіаційного забруднення, які виникли після аварії на Чорнобильській АЕС, пролонгований ефект випромінювання малими дозами на біологічні системи є