

УДК 639.371.5 : 628.394.17 : 546

© Т. С. Шарамок, О. В. Федоненко

## РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ЕКОСИСТЕМІ ПЕТРИКІВСЬКИХ СТАВІВ

*Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара  
49000, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72; e-mail: sharamok@i.ua*

**Шарамок Т. С., Федоненко О. В. Розподіл важких металів в екосистемі Петриківських ставів.** – У статті наведено дані щодо особливостей розподілу важких металів у вирощувальних ставах Петриківського рибгоспу. Визначено вміст важких металів у воді, донних відкладеннях, планктоні, зообентосі, макрофітах і молоді коропових риб. На основі цих даних було розраховано баланс важких металів в екосистемі вирощувальних ставів.

*Ключові слова:* Петриківський рибгосп, вирощувальні стави, баланс важких металів.

### Вступ

Антропогенне забруднення важкими металами навколишнього середовища має в наш час глобальний характер. На відміну від органічних речовин, вони не піддаються деструкції, а постійно присутні у водних екосистемах, змінюючи форму сполук, а отже, реакційну здатність, біологічну активність та екологічну небезпечність. Фізико-хімічний стан важких металів змінюється в результаті процесів гідролізу, комплексоутворення, адсорбції, осадження. Вказані процеси визначають міграційну рухливість важких металів, їх перерозподіл між основними компонентами водної екосистеми, біодоступність і токсичність для водяних організмів [1].

Забруднення важкими металами не тільки підриває запаси і відтворення промислових видів гідробіонтів у природних умовах, але також обмежує розвиток аквакультури у внутрішніх водоймах. Акумуляуючись значною мірою у фіто- та зоопланктоні, зообентосі, детриті та вищій водній рослинності, ці метали за трофічними ланцюгами та безпосередньо з води надходять до організму риб, накопичуючись у значній кількості в органах і тканинах, що може змінювати інтенсивність та направленість обміну речовин, суттєво впливати на біоенергетичні процеси, ритм розмноження функціонування репродуктивної системи [2, 3]. Отримані результати дозволяють науково обґрунтувати підходи щодо зниження дії важких металів на екосистеми водойм та вирішення проблеми отримання якісного рибопосадкового матеріалу.

Актуальність роботи полягає у вивченні особливостей процесів розподілу та накопичення важких металів (кадмію, свинцю, цинку, міді, нікелю та заліза) в екосистемі рибницьких ставів.

У зв'язку з цим метою нашої роботи було дослідження особливостей розподілу важких металів у вирощувальних ставах Петриківського рибгоспу.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили в повносистемному рибному господарстві Дніпропетровської області – Петриківському (ВАТ «Петриківський рибгосп»). Експериментальними водоймами Петриківського рибгоспу були вирощувальні ставки: В-1 (17,0 га), В-2 (15,2 га), В-3 (20,0 га). Досліджувані ставки повністю спускні. Водопостачання відбувалося за допомогою насосних станцій. Водообмін за період дослідження у ставках становив 2 рази/сезон.

Об'єктом досліджень була молодь двох видів риб – коропа (*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)) і білого товстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)), а також вода, донні відкладення, планктон, зообентос і вищі водяні рослини досліджуваних ставків.

Риба вирощувалася в полікультурі коропа (60%) й білого товстолобика (40%) в умовах пасовищного рибництва. Контрольні лови для визначення морфометричних і фізіологічних показників проводили щомісяця за станом на 1 і 15 числа з червня по жовтень. Проводили контрольне зважування не менше 50 штук [4].

У кінці вегетаційного періоду маса цьогорічок коропа та білого товстолобика складала  $25 \pm 1,2$  г, коефіцієнт вгодованості дорівнював 3. Загальна рибопродуктивність ставків дорівнювала 668 кг/га.

Нами досліджувались закономірності накопичення, розподілу й міграції важких металів – міді, нікелю, кадмію, свинцю, заліза й цинку в екосистемі вирощувальних ставів Петриківського рибного господарства. Важкі метали в пробах визначали методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії після їх сухого зоління [5, 6] на спектrophотометрі С-115М1.

Баланс важких металів розраховувався з урахуванням продуктивності водойм і водообміну.

Результати досліджень оброблені методом варіаційної статистики за загальноприйнятою методикою [7].

### Результати та обговорення

Вода є одним із основних джерел надходження важких металів до різних компонентів водойм. В організм гідробіонтів можуть надходити іони важких металів, а також їх комплексні сполуки з молекулярною масою в декілька тисяч атомарних одиниць, а високомолекулярні сполуки є біологічно неактивними [8]. Нами була проведена кількісна оцінка вмісту важких металів у воді джерел водопостачання ставів і воді, що витікає зі ставів. Дослідження води, що надходила у стави, показало, що концентрації міді, нікелю, свинцю, кадмію та цинку не перевищували ГДК для води рибогосподарських водойм. Були виявлені перевищення ГДК заліза в 1,9 раз, що складало 0,19 мг/л. Певна частина розчинених форм важких металів, що надходили у стави з водою джерела водопостачання, акумулювалась у біотичних та абіотичних компонентах водойм. Вода, що витікала зі ставів, містила меншу кількість важких металів порівняно з тією, що надходила (на 6-64%).

Враховуючи інтенсивність водообміну в контрольних екосистемах, який складав 2 рази/сезон, була встановлена прибуткова частина балансу важких металів у цих водоймах, яка надходила з річковою водою. Загальний вміст досліджуваних металів у Петриківських ставах складав 2,64 кг/га. Основну частину прибуткового балансу в дослідних водоймах складало залізо. Так, у ставах його прибуток складав близько 90% від загальної кількості всіх елементів.

Донні відкладення вирощувальних ставів були представлені глинистим мулом. Один з найбільш ефективних показників забруднення водойм і загального антропогенного навантаження на нього є вміст важких металів у донних відкладах [9]. Аналіз донних відкладень виявив усі досліджувані важкі метали, але перевищення фонових значень та ГДК для ґрунтів не виявлено. Спостерігався максимальний вміст заліза ( $138,6 \pm 10,18$  мг/кг) та мінімальний – кадмію ( $0,038 \pm 0,003$  мг/кг).

Заростання ставів вищими водяними рослинами складало 30%. Рослинна біомаса становила  $950 \pm 28,4$  г/м<sup>2</sup> сирової ваги. Занурені макрофіти були представлені наступними видами: *Polygonum amphibium* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Vallisneria* sp. L. Повітряно-водні макрофіти: *Typha latifolia* L., *Phragmites australis* Cav., *Scirpus lacustris* L. Неукорінені плаваючі рослини представлені: *Lemna trisulca* L.

Водяні рослини здатні активно акумулювати токсичні речовини, які знаходяться у водному середовищі. Проведені дослідження показали, що накопичення водяними рослинами важких металів у ставах залежить від багатьох чинників, у тому числі від видової приналежності рослин і виду металу. Встановлено, що найбільшу кількість дослідних елементів накопичувалось у тканинах повітряно-водних укорінених рослин. Так, в укорінених занурених рослинах вміст важких металів розподілявся наступним чином: кадмій – 19,8%, свинець – 5,09%, цинк – 37,0%, мідь – 7,7%, залізо – 16,09%; нікель – 21,0%. В укорінених повітряно-водних рослинах: кадмій – 34,6%, свинець – 66,0%, цинк – 33,7%, мідь – 82,2%, залізо – 69,4%, нікель – 33,0%. У неукорінених рослинах з плаваючими листками: кадмій – 45,6%, свинець – 29,0%, цинк – 29,3%, мідь – 10,4%, залізо – 11,24%, нікель – 46,0%.

Водяні рослини дослідних водойм накопичували метали в концентраціях, які значно перевищували їх вміст у воді. Проведені нами дослідження підтверджують дані авторів [10], що водяні рослини відіграють важливу роль у біогенній міграції хімічних елементів у водних екосистемах і можуть бути використані для біологічного очищення води, яка надходить до рибницьких ставів.

Планктон і зообентос є природною кормовою базою для риб, що вирощувалися у дослідних ставах. Для оцінки кормової бази було визначено кількісний та якісний склад планктону та зообентосу [11]. Флористичний аналіз показав, що влітку переважали представники відділу Cyanophyta (52%), а восени – представники відділу Chlorophyta (28%) і Bacillariophyta (39%). Біомаса рослинного планктону в середньому складала  $20 \pm 1,6$  г/м<sup>3</sup>. Загальна біомаса зоопланктону в контрольованих водоймах складала  $5 \pm 0,7$  г/м<sup>3</sup>. Домінували представники гіллястовусих ракоподібних.

Дослідження накопичення токсикантів у планктонних і бентосних організмах є найважливішим завданням, тому що ці компоненти гідроекосистеми є первинними ланками трофічного ланцюга. Нами було встановлено максимальну кількість заліза в планктоні дослідних водойм (13,45 мг/кг) і мінімальну – кадмію (0,09 мг/кг). Вміст цинку та міді у планктонних організмах корелював з їх вмістом у воді ( $r = 0,93$ ).

Синхронний відбір проб води й планктону та визначення концентрації важких металів дозволив розрахувати коефіцієнти накопичення, які слугують кількісними показниками розподілу металів у системі «вода – організм». Коефіцієнт накопичення кадмію складав 225, свинцю – 392, цинку – 290, міді – 9277, нікелю – 491 і заліза – 71. Високий коефіцієнт накопичення міді, можливо, пов'язаний з вибірковою здатністю до накопичення цього елемента певними видами фітопланктону.

Зообентос водойм складався переважно з личинок хірономід, олігохет, нематод, личинок бабок та одноденок з максимальною біомасою  $5 \pm 0,8$  г/м<sup>2</sup>, що характеризувало стави як середньотрофічні.

Аналіз вмісту важких металів показав максимальний вміст заліза (102 мг/кг) в донних організмах і мінімальний – кадмію (0,5 мг/кг). Виявлено, що вміст важких металів у донних гідробіонтах Петриківських ставів повторює розподіл цих елементів у донних відкладеннях. Коефіцієнти накопичення важких металів у зообентосі відносно донних відкладень були наступними: кадмій – 13,0, свинець – 1,14, цинк – 0,8, мідь – 1,4, нікель – 5,2, залізо – 2,6. Таким чином, представники донної фауни вирощувальних ставів були макроконцентраторами кадмію, нікелю та заліза ( $KH > 2$ ) і деконцентраторами цинку ( $KH < 1$ ) [12].

Особливу зацікавленість виявляє вивчення накопичення та розподілу в організмі молоді риб важких металів, які можуть впливати на ріст організму, а також загальну біопродуктивність водойм.

Проведені дослідження не виявили перевищень ГДК у м'язах і тушках молоді корошових риб (табл. 1).

Таблиця 1

**Вміст важких металів у тушках цьогогорічок корошових риб Петриківського рибгоспу, мг/кг ( $M \pm m$ ), n=5**

Метали	Вміст, мг/кг	ГДК
Мідь	$0,7 \pm 0,04$	10,0
Нікель	$0,3 \pm 0,02$	0,5
Свинець	$0,3 \pm 0,05$	1,0
Кадмій	$0,008 \pm 0,0009$	0,2
Залізо	$10,0 \pm 1,25$	30,0
Цинк	$8,0 \pm 0,96$	40,0

За сумарним вмістом важких металів в організмі корошових риб суттєвих відмінностей не виявлено ( $p \geq 0,05$ ).

Накопичення важких металів у риб, що вирощувались у Петриківському рибному господарстві, відбувалось відповідно до наступних рядів за порядком зменшення значення коефіцієнту накопичення та суттєво не відрізнялось у коропа і білого товстолобика:

Короп:  $Cu > Zn > Pb > Cd > Fe$

Білий товстолобик:  $Cu > Zn > Pb > Fe > Cd$

Установлено приходний баланс важких металів у контрольованих водоймах, тобто встановлено кількість розчинених форм металів, які акумулювались у ставах з води джерела живлення даних екосистем. Як відомо, попадаючи у водойми, розчинені форми металів розподіляються у різних компонентах водних екосистем. Основною формою міграції важких металів у водоймах є завислі речовини, які відіграють важливу роль в осіданні даних елементів. Не менш важлива роль у поглинанні важких металів, що поступають до водойми, відводиться живим організмам, тобто біоасиміляції, а також утворенню комплексних сполук металів з неорганічними та органічними розчиненими речовинами [13].

Характер розподілу важких металів в екосистемах вирощувальних ставів Петриківського рибгоспу представлено на рис. 1. Основна частина важких металів седиментувалась у донні відклади (79%), у зваженому стані знаходилось біля 13%. Такий розподіл відбувався, в основному, за рахунок осаду заліза, це підтверджується раніше отриманими даними на прикладі ставів з різними джерелами водопостачання [14]. У контрольованих Петриківських ставах біоакумуляція важких металів проходила наступним чином: 4,0% накопичувалось водними рослинами, 3,0% – планктоном, 0,6% – рибою та 0,4% – зообентосом.

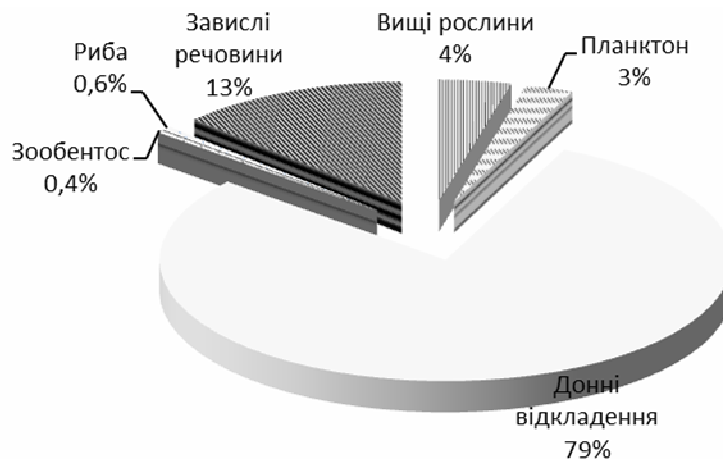


Рис. 1. Баланс важких металів у Петриківських ставах.

Аналіз даних показав, що в біокомпонентах досліджуваних водних екосистем накопичувалось близько 8% тієї частини важких металів, які потрапили до ставів з річковою водою. Найбільш активно важкі метали акумулювались водними рослинами.

Дослідження показали, що достатньо акумулювались планктонними організмами цинк, залізо та нікель, що сприяло передачі за харчовими ланцюгами цих елементів до організму молоді риб.

У зообентосі накопичувалась мінімальна кількість усіх важких металів з води, за винятком заліза. Як вказано вище, ці організми в контрольованих нами водоймах накопичували важкі метали, в основному, з донних відкладів.

В організмі риб активно акумулювався цинк (близько 30% приходного балансу). Це пов'язано з тим, що цинк є життєво важливим елементом. Як відомо, у період розвитку риб збільшується потреба не тільки в макроелементах, але і в мікроелементах, зокрема, в цинку. Він у великій кількості потрібний для формування кісткового скелету, плавців, луски. Як

активатор лужної фосфатази, необхідний для синтезу й активації ферментів, які містять цинк, що забезпечує процеси тканинного дихання, які в період раннього онтогенезу риб здійснюються достатньо інтенсивно. Саме це і визначає високу акумулятивну здатність організму риб на ранніх стадіях розвитку (личинки, мальки) [12]. Найменш активно акумулювався в організмі риб кадмій, що складало 0,0001 кг/став.

### Висновки

1. У воді джерела водопостачання ставів Петриківського рибгоспу вміст майже усіх дослідних важких металів не перевищував ГДК для водойм рибогосподарського призначення. Концентрація заліза складала 1,9 ГДК.

2. За рахунок акумуляції металів у біотичних та абіотичних компонентах гідроекосистеми, у воді, яка витікала із ставів, кількість металів зменшувалася (до 64%) порівняно з водою джерела водопостачання.

3. У кормових організмах (планктон і зообентос) встановлено максимальний вміст заліза (13,45-102 мг/кг) і мінімальний кадмію (0,09-0,5 мг/кг). Вміст важких металів у зообентосі корелює з їх вмістом у донних відкладеннях. Представники донної фауни є макроконцентраторами кадмію, нікелю та заліза та деконцентраторами цинку.

4. Вміст важких металів у м'язах і тушках цьогорічок коропа та білого товстолобика не перевищував ГДК.

5. Аналіз балансу важких металів в екосистемах дослідних ставів показав, що в їх біокомпонентах акумулювалося 8% розчинних форм металів від тих, що надходили з річковою водою. Молодь коропових риб акумулювала 0,6% металів. Максимальна кількість важких металів акумулювалась у донних відкладеннях (79%) і завислих речовинах (13%).

6. З метою біологічного очищення води рибницьких ставів можливо використовувати макрофіти: *Typha latifolia* L., *Pragmites australis* Cav., *Scirpus lacustris* L. Для вилучення з кругообігу нікелю та кадмію можливо використовувати рослини родини ряскових (*Lemna trisulca* L.).

### Список літератури

1. Гуменюк Г. Б. Вміст і міграція міді, кобальту, кадмію та свинцю в екосистемі Тернопільського ставу / Г. Б. Гуменюк // Наук. зап. Тернопільського пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: Біол. Спецвип.: Гідроекологія. – 2001. – № 3 (14). – С. 191–193.

2. Запорожское водохранилище / [А. И. Дворецкий, Ф. П. Рябов, Г. П. Емец и др.]. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та, 2000. – 170 с.

3. Федоненко О. В. Вплив антропогенних факторів на стан промислової іхтіофауни Запорізького водосховища: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / О. В. Федоненко. – Одеса, 2010. – 38 с.

4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / [За ред. В. Д. Романенко]. – К., 2006. – 628 с.

5. Рожкова И. М. Методика определения минеральных веществ в воде, корме, органах, тканях и экскрементах рыб / И. М. Рожкова // Вопросы физиологии и биохимии питания рыб. – 1987. – С. 176–182.

6. Хавезов И. Атомно-абсорбционный анализ / И. Хавезов, Д. Цалев. – Л.: Химия, 1983. – 144 с.

7. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1980. – 350 с.

8. Евтушенко Н. Ю. Проблемы и задачи ихтиотоксикологического биомониторинга / Н. Ю. Евтушенко / II Всесоюз. конф. по рыбохозяйственной токсикологии. – СПб., 1991. – Т. 1. – С. 172–173.

9. Линник П. М. Комплексоутворення металів з природними органічними речовинами – важливий фактор детоксикації (за результатами біотестування) / [П. М. Линник, Е. П. Щербань, Т. О. Васильчук та ін.] // Наук. зап. Тернопільського пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: Біол. Спецвип.: Гідроекологія, 2001. – № 3 (14). – С. 206–208.

10. Микрякова Т. В. Накопление тяжелых металлов макрофитами в условиях различного уровня загрязнения водной среды / Т. В. Микрякова // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29, № 2. – С. 253–255.

11. Кражан С. А. Природна кормова база рибогосподарських водойм / С. А. Кражан, М. І. Хижняк. – Херсон, 2011. – 321 с.

12. Романенко В. Д. Основи гідроекології / В. Д. Романенко. – К.: Обереги, 2001. – С. 156–160.

13. Лукьяненко В. И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии / В. И. Лукьяненко. – М.: Агропромиздат, 1984. – 237 с.

14. Шарамок Т. С. Баланс тяжелых металлов в экосистемах выростных прудов рыбных хозяйств Днепропетровской области / Т. С. Шарамок, Н. И. Бескровная, А. И. Дворецкий // Рыбне господарство. – 2004. – Вип. 63. – С. 262–256.

**Шарамок Т. С., Федоненко Е. В. Распределение тяжелых металлов в экосистеме Петриковских прудов.** – В статье приведены данные о распределении тяжелых металлов в выростных прудах Петриковского рыбхоза. Определено содержание тяжелых металлов в воде, донных отложениях, планктоне, зообентосе, макрофитах и молоди карповых рыб. На основе этих результатов рассчитан баланс тяжелых металлов в экосистеме выростных прудов.

*Ключевые слова:* Петриковский рыбхоз, выростные пруды, баланс тяжелых металлов.

**Sharamok T. S., Fedonenko O. V. Distribution of heavy metals in the ecosystem of the Petrykovsky ponds.** – The article presents data on the characteristic of heavy metals distribution in growing ponds of the Petrykovska fish farm. Heavy metals are determined in water, sediments, plankton, zoobenthos, macrophytes and young carp fish. On the base on these results the balance of heavy metals in the ecosystem of growing ponds have calculated.

*Key words:* Petrykovska fish farm, growing ponds, balance of heavy metals.