

*L. Ya. Fedoniuk, O. I. Skyba, Ya. O. Bilyk, N. B. Hlyvka*

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine, Ukraine

FORMATION OF ENVIRONMENTAL MINDSET THROUGH MULTIPLE-LEVEL OF ECOLOGICAL EDUCATION

Students who study medicine and the younger generation can become environment conscious through the project "Four elements of nature - harmony in everyday life", developed by the staff of the Department of Medical Biology of I.Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine together with the University of Rzeszow (Poland). The efficiency of formation of personal and professional qualities of a student, the required knowledge, skills and abilities to think rationally and meet modern ecological challenges, ability to actively promote ecological mindset and convey ecological knowledge to younger generations (kids, schoolchildren, students) are studied and analyzed.

The article presents a variety of interactive methods and forms of teaching students, which should be used in the formation and education of environmental mindset. The experience gained in the implementation of certain stages of the project is shown, namely: the use of the method of "teaching-learning", the method of questionnaires, the achievements of scientific work and volunteer work of students.

It was determined that the practical implementation of the tasks and goals of environmental education in educational institutions is based on the principles of the relationship of theoretical knowledge with the practical activities of young people in this field; inclusion of ecological aspects in the structure of subject, special generalizing topics; use of interactive and problem-based teaching methods; a combination of classroom and extracurricular environmental work.

*Keywords: ecological thinking, ecological education, children, youth, students, elements of nature, earth, water, air, fire.*

Надійшла 01.11.2021.

УДК 282.247.31 : 546.30 : 597.5

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.7

**В. О. ХОМЕНЧУК, Н. О. ВОВЧЕК, В. Я. БИЯК, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ**

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

**КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЕКОСИСТЕМ МАЛИХ РІЧОК ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ**

У роботі досліджено вміст металів (Ферум, Кобальт, Манган, Цинк, Купрум) у воді, донних відкладах та тканинах прісноводних риб (короп, карась, щука, окунь) з малих річок Західного Поділля (Серет, Стрипа, Золота Липа). Встановлено високі концентрації у воді та донних відкладах річок Феруму та Мангану, що, ймовірно, зумовлено надходженням цих металів із донних відкладів в умовах дефіциту кисню. Показано, що високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану у донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів. Для різних металів було встановлено індивідуальні механізми акумулювання та розподілу в організмі риб. Було відмічено вищі концентрації у печінці та зябрах досліджуваних видів риб Феруму, Мангану та Цинку та значно нижчий вміст Кобальту та Купруму. Вміст металів у тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має виражену тканинну та видову специфіку. Проаналізовано кореляційні зв'язки між вмістом металів у воді, донних відкладах

та тканинах риб із малих річок Західного Поділля. Встановлено позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму у донних відкладах, в зябрах карася, окуня, щуки та печінці окуня і щуки. Кількість Мангану у воді корелювала з вмістом металу у зябрах коропа та щуки. Зростання кількості цинку у донних відкладах (валова форма) призводило до акумулювання його у зябрах усіх видів риб, а також у печінці окуня та щуки, про що свідчать високі позитивні значення коефіцієнтів Пірсона (0,71–0,91). Вміст Купруму у воді та донних відкладах (валова форма) корелював з їх кількістю у печінці окуня та щуки, що може слугувати для біоіндикації забруднення водних екосистем цим металом.

*Ключові слова:* малі річки, донні відклади, важкі метали, риби, кореляційний аналіз.

Малі річки України останні десятиліття зазнають прогресуючого антропогенного впливу, який посилюється глобальними кліматичними змінами [14]. Особливо гострою є проблема забруднення малих річок біогенними елементами, пестицидами, детергентами та важкими металами. Небезпека останніх обумовлена їх високою токсичністю, здатністю до акумуляції в компонентах гідроекосистем, біомагніфікацією тощо [17, 18]. Визначення концентрації важких металів у воді, донних відкладах, прибережному ґрунті, водних організмах часто не є високоінформативним, оскільки шкодочинність металів визначається цілою низкою чинників таких як температура, гідрохімічні параметри водного середовища, природа металу, а також видовими та віковими характеристиками гідробіонтів [12, 17].

Тому особливої уваги заслуговує комплексний підхід до оцінки забруднення малих річок важкими металами та визначення їх токсичності (шкодочинності) для водної біоти, і, насамперед, риб. У ході дослідження нами було вивчено рівень накопичення таких металів як Ферум, Кобальт, Манган, Цинк та Купрум у воді, донних відкладах та тканинах прісноводних риб з трьох малих річок Західного Поділля – Серет, Стрипа та Золота Липа. Також для узагальнення результатів та інтегральної оцінки рівня забрудненості даних малих річок було використано кореляційні зв'язки між вмістом зазначених металів у воді, донних відкладах та тканинах риб.

### **Матеріал і методи досліджень**

Для оцінки забруднення малих річок Західного Поділля (Серет, Стрипа, Золота Липа) важкими металами, дослідження міграції, розподілу та біомагніфікації їх у компонентах цих гідроекосистем відбирали проби води, донних відкладів та тканин риб (короп, карась, щука, окунь). Зазначені водотоки розташовані в трьох зонах відмінних за характером антропогенного впливу. Так, річка Золота Липа – урбанавантажена, Серет – сільськогосподарсько навантажена зона, Стрипа – умовно чиста зона.

Воду відбирали з поверхневого горизонту, прибережний мул – на глибині приблизно 50 см. за загальноприйнятими методиками, після чого проводили їх фіксацію та транспортували у лабораторію для визначення вмісту металів [18]. Для визначення вмісту Феруму, Кобальту, Мангану, Цинку та Купруму у воді проби випарювали та спалювали в нітратній кислоті. Для визначення концентрації елементів у донних відкладів зразки висушували в термостаті при температурі 105<sup>0</sup>С, розтирали в ступі до порошкоподібного стану. Згодом 0,25 г абсолютно сухого мулу поміщали в платиновий тигель, додавали суміш із 2,5 мл HF і 2,5 мл HClO<sub>4</sub> та випарювали насухо. Потім додавали 2,5 мл HF і 0,25 мл HClO<sub>4</sub> і нагрівали до виділення білих парів. Після чого знову додавали 0,25 мл HClO<sub>4</sub>. Залишок розчиняли в 2,5 мл HNO<sub>3</sub>. Отримані нітратні розчини використовували для визначення вмісту іонів металів, яке здійснювали методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С-115 при відповідних довжинах хвиль, які відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів. Величини виражали в міліграмах на кілограм сухої маси.

Із риб для дослідження із зазначених вище річок відбирали такі види: коропа лускатий – *Suiprinus carpio* L., щука звичайна – *Esox lucius* L., карась сріблястий – *Carassius gibelio* Bloch. та окунь звичайний – *Perca fluviatilis* L. Маса риб становила 290–330 г, 300–350 г, 150–230 г та 170–230 г відповідно. Після вилову риб транспортували в лабораторію, де відбирали зразки тканин для досліджень.

Риб забивали шляхом декапітації і проводили екстерпацію передньої долі печінки та зябрових дуг. Усі процедури відбору тканин виконували при 4<sup>0</sup>С. Досліди виконувались відповідно до правил європейської конвенції про гуманне ставлення до лабораторних тварин та «Загальних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики [5].

Дослідження вмісту важких металів у тканинах риб здійснювали за методикою Мур Дж. та Раммамурті С. [11]. Після препаратії органів наважки тканин риб (1,00 г) спалювали в нітратній кислоті (х.ч.) у співвідношенні 1:5 (маса: об'єм) за температури 110–120<sup>0</sup>С. Вміст металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М і виражали в міліграмах на кілограм вологої маси тканин.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою пакету STATISTICA 12 [13]. Дані кореляційних зв'язків між вмістом металів у воді, донних відкладах та тканинах риб було представлено у вигляді кореляційних матриць.

### Результати досліджень та їх обговорення

Концентрації металів у воді є одними з головних гідрохімічних показників, що відображають рівень екологічного благополуччя водних об'єктів, у тому числі й малих річок. Аналіз показників валових концентрацій Феруму, Кобальту, Мангану, Цинку та Купруму у воді річок Західного Поділля показав, що ряд вмісту металів у воді річок Стрипа та Золота Липа виглядає наступним чином: Fe→Mn→Zn→Cu→Co (рис. 1); у воді р. Серет – Fe→Cu→Zn→Mn→Co. Разом з тим, уміст Феруму у всіх трьох річках знаходиться практично на одному рівні. У цілому, виявлено найвищі концентрації у воді річок Феруму та Мангану, що, ймовірно, зумовлено надходженням цих металів із донних відкладів внаслідок відновлення (в умовах дефіциту кисню) [6].

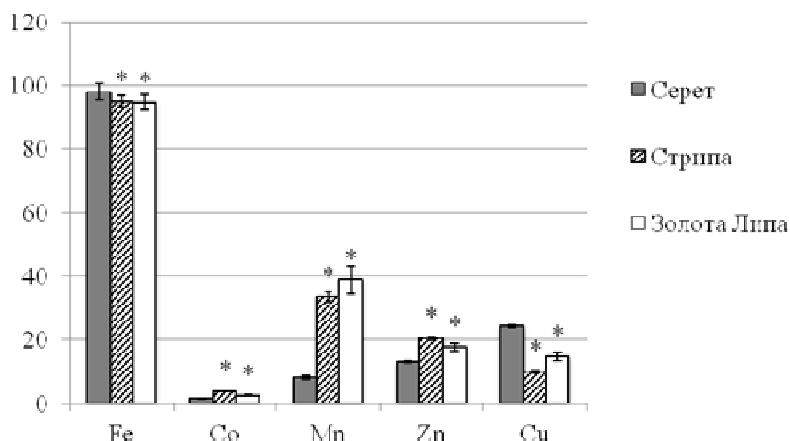


Рис. 1. Концентрація важких металів у поверхневих водах річок Західного Поділля (мкг/л,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Важливим чинником, що визначає екологічний статус гідроекосистеми, є донні відклади [2]. Вони беруть участь у колообігу речовин, відображають тенденції щодо накопичення екополутантів, дають змогу оцінити в просторі та часі зміни розподілу та міграції компонентів у системі «вода – донні відклади» [1, 19].

Аналіз отриманих результатів показав, що найвищий вміст Феруму зафіксований у валовій формі донних відкладів р. Стрипа (рис. 2). Валова форма Мангану знаходиться майже на однаковому рівні в донних відкладах річок Серет і Золота Липа, і в 1,8 рази цей показник нижчий у р. Стрипа. Слід відзначити найвищу концентрацію цинку в донних відкладах р. Серет, порівняно з р. Золота Липа та р. Стрипа.

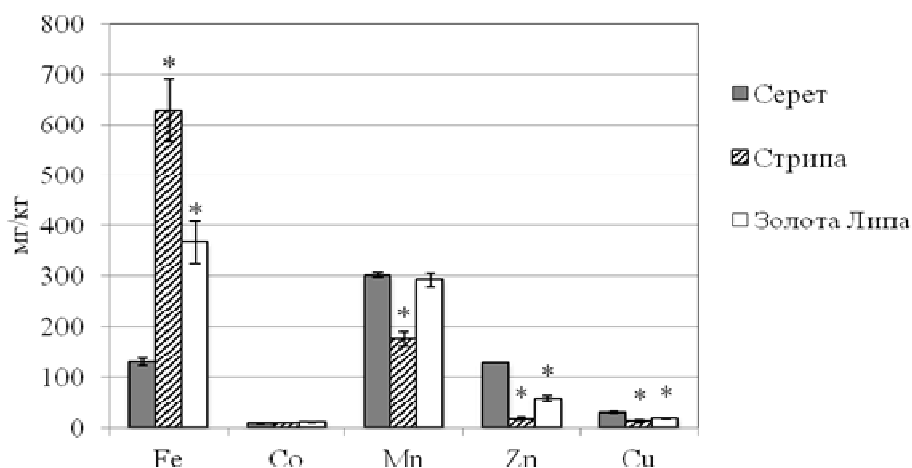


Рис. 2. Вміст валової форми металів у донних відкладах річок Західного Поділля (мг/кг,  $M \pm m$ ,  $n=5$ ).

Ряд концентрацій валової форми металів у р. Стрипа та р. Золота Липа був подібним до показників у воді  $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$ , а у р. Серет він мав вигляд  $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$ . Слід відзначити, що, як і у воді, у донних відкладах у цілому було зафіксовано найвищі концентрації валової форми Феруму та Мангану.

Якщо валовий вміст хімічних елементів у донних відкладах є кількісною характеристикою, яка визначає участь металів у рівновазі з розчиненою формою, то рухома форма в завислих речовинах донної складової визначає їх участь в динамічній рівновазі між водою і твердою фазою [3, 9]. Виявлено, що вміст рухомих форм металів у донних відкладах зменшувався у ряді  $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$  для р. Стрипа і р. Золота Липа та  $Fe \rightarrow Zn \rightarrow Mn \rightarrow Cu \rightarrow Co$  для р. Серет (рис. 3).

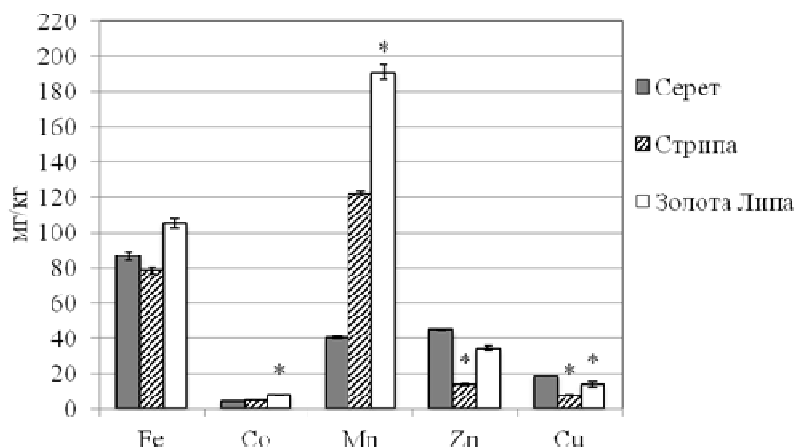


Рис. 3. Вміст рухомої форми металів у донних відкладах малих річок Західного Поділля (мг/кг,  $M \pm m$ ,  $n=5$ ).

Високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану в донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів.

Важливою характеристикою металів є їх біомагніфікація. Вони з часом не руйнуються, а тільки накопичуються в міру проходження в біологічних циклах і харчових ланцюгах. Для різних металів існують індивідуальні механізми акумуляції та розподілу в організмі

гідробіонтів [4, 15]. Часто рівень накопичення металів у тканинах риб може відображати стан забруднення водних екосистем металами [4, 10, 18].

Аналіз отриманих результатів показав, що найвищий вміст Феруму виявлено в печінці коропа з р. Стрипа (табл. 1). Досить високий вміст Феруму зафіксовано в печінці у коропа та карася з р. Серет. Концентрація цього металу в печінці окуня з р. Стрипа вдвічі більша, ніж в особин цього виду з р. Серет та в 3,6 раза більша, ніж в окуня з р. Золота Липа.

Таблиця 1

Вміст Феруму в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля  
(мг/кг сирової маси,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	116,40±6,35	74,39±1,49	77,48±1,79	48,20±2,04
Стрипа	111,04±2,10	133,44±1,31*	75,12±2,39	124,39±1,93*
Золота Липа	86,19±0,38*	77,87±1,92	146,39±1,78*	57,48±0,84*
Печінка				
Серет	155,00±10,97	155,87±10,97	72,03±4,46	51,75±4,34
Стрипа	201,48±2,86*	61,44±1,36*	144,09±2,37*	184,45±2,61*
Золота Липа	125,78±1,07*	148,42±1,79	39,45±1,17*	168,50±1,94*

Примітка. \* – тут і в табл. 2–5 зміни показників щодо р. Серет статистично достовірні ( $P < 0,05$ )

Вміст Феруму в зябрах досліджуваних видів риб дещо нижчий, ніж у печінці. Найбільше цього металу виявлено в зябрах окуня з р. Золота Липа, на 8,8 % менше його в зябрах карася з р. Стрипа та на 20,5 % менше у коропа з р. Серет. Отже, вміст Феруму в тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має тканинну специфіку і залежить від виду риб.

Із отриманих результатів слідує, що в тканинах досліджуваних видів риб вміст Кобальту незначний (табл. 2). Найбільше його було акумульовано зябрами усіх видів риб з р. Серет. Найменша концентрація вказаного металу виявлена в зябрах риб з р. Золота Липа.

Таблиця 2

Вміст Кобальту в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля  
(мг/кг сирової маси,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	3,76±0,12	2,54±0,18	5,09±0,34	3,48±0,07
Стрипа	0,97±0,01*	1,12±0,01*	1,54±0,02*	0,73±0,03*
Золота Липа	0,86±0,01*	0,29±0,01*	0,76±0,04*	0,83±0,01*
Печінка				
Серет	2,28±0,04	2,30±0,05	3,28±0,21	1,89±0,02
Стрипа	0,84±0,02*	0,94±0,04*	1,22±0,03*	0,59±0,01*
Золота Липа	0,71±0,02*	0,36±0,01*	0,85±0,01*	0,73±0,03*

Вміст Кобальту в печінці дещо нижчий, ніж в зябрах. Найбільша кількість його знайдена в печінці окуня з р. Серет, а найменша концентрація цього металу виявлена в печінці карася з р. Золота Липа. Максимальний рівень акумульованого Кобальту в тканинах досліджуваних риб було виявлено в р. Серет. За вмістом металу в організмі гідробіонтів досліджувані водотоки можна розмістити у вигляді ряду: Серет > Стрипа > Золота Липа.

Найвищі концентрації Мангану було виявлено в тканинах усіх досліджуваних видів риб з р. Стрипа (табл. 3). Особливо високим вміст металу (14,73 мг/кг) був у зябрах карася. Найменше Мангану було виявлено в зябрах окуня з р. Золота Липа.

Таблиця 3

Вміст Мангану в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля  
(мг/кг сирової маси,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	2,52±0,01	4,73±0,16	4,38±0,18	3,54±0,07
Стрипа	8,93±0,07*	14,08±0,17*	5,32±0,08*	6,08±0,09*
Золота Липа	2,14±0,05*	4,14±0,11*	1,45±0,07*	2,60±0,11*
Печінка				
Серет	2,58±0,11	2,57±0,04	4,48±0,26	1,76±0,13
Стрипа	8,99±0,03*	7,33±0,07*	3,54±0,20*	4,69±0,04*
Золота Липа	1,88±0,04*	1,59±0,04*	1,32±0,13*	1,78±0,07

Найнижчий вміст цього металу був виявлений в печінці усіх видів риб, виловлених в р. Золота Липа. У цілому, накопичення Мангану в тканинах риб має подібний характер з Ферумом.

Найбільше акумулювання Цинку було виявлено в тканинах зябер риб, виловлених із р. Серет (табл. 4). Найнижчі концентрації цього металу були зафіксовані в зябрах риб (за винятком окуня) з р. Стрипа.

Вміст Цинку в печінці, як і у зябрах риб, був найвищим у представників, виловлених у р. Серет, а найнижчим – у особин із р. Стрипа.

Таблиця 4

Вміст Цинку у тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля  
(мг/кг сирової маси,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	158,65±8,65	133,92±10,53	159,68±4,95	237,10±8,40
Стрипа	63,42±0,34*	88,02±0,92*	25,36±0,36*	118,46±0,65*
Золота Липа	75,46±1,70*	140,81±6,50	18,62±0,30*	73,90±2,91*
Печінка				
Серет	100,22±7,88	50,38±4,03	159,56±9,78	153,89± 5,80
Стрипа	42,98±0,06*	50,66±0,76	33,54±0,39*	52,22±0,24*
Золота Липа	66,76±1,89*	66,53±1,19*	15,59±0,26*	28,07±0,48*

Таким чином, вміст Цинку в досліджуваних тканинах риб не тільки найвищий, але він і змінюється в найбільш широким межах, що може свідчити про його активне використання в обмінних процесах. У загальному характер розподілу Цинку в тканинах риб подібний із розподілом Кобальту.

Вміст Купруму в тканинах досліджених видів риб із малих річок Західного Поділля, як і вміст Кобальту, є невисоким. Найменша концентрація цього металу була зафіксована в зябрах щуки з р. Серет, а найбільша в цьому органі – у щуки з р. Стрипа (табл. 5).

Таблиця 5

Вміст Купруму в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля  
(мг/кг сирової маси,  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	1,32±0,09	1,65±0,06	1,27±0,03	0,22±0,02
Стрипа	3,39±0,02*	3,23±0,04*	2,57±0,09*	3,53±0,03
Золота Липа	1,29±0,03	1,19±0,05*	1,24±0,04	1,23±0,08
Печінка				
Серет	2,72±0,10	0,82±0,04	2,82±0,16	2,31±0,11
Стрипа	5,38±0,04*	2,87±0,11*	2,43±0,09*	6,14±0,17*
Золота Липа	3,39±0,49	0,86±0,03	2,09±0,19*	5,69±0,16*

Найбільше Купруму накопичується в печінці риб, виловлених у р. Стрипа. Найнижчі концентрації Купруму, у цілому, було зафіксовано в печінці риб з р. Серет.

Загалом, зафіксовано високі рівні накопичення Феруму, Мангану та Купруму в тканинах риб із р. Стрипа, Кобальту та Цинку – у організмі риб із р. Серет. Разом з тим, показники накопичення важких металів у воді, донних відкладах та тканинах риб характеризуються значною варіабельністю, різною направленістю, залежать від низки чинників (гідрохімічні параметри води і донних відкладів, фізико-хімічна природа металів, видові та тканинні особливості їх накопичення тощо) та важко піддаються інтерпритації. Часто високий вміст металу в середовищі не завжди призводить до його акумуляування, тоді як за сприятливих умов допорогові концентрації металів у воді можуть призводити до накопичення і токсичної дії. Тому більш інформативними є показники кореляційного аналізу (коефіцієнти кореляції Пірсона), що дозволяють оцінити взаємозв'язки між концентраціями досліджуваних металів у воді, донних відкладах та тканинах риб із малих річок Західного Поділля. Такий підхід дозволяє оцінити, у яких видів риб, у яких тканинах і яких металів біонакопичення є прямим відображенням забрудненості середовища важкими металами. Силу кореляційних зв'язків між визначуваними показниками оцінювали за шкалою Чеддока [7]. При цьому при значеннях коефіцієнта Пірсона більше 0,7 кореляційні зв'язки вважали сильними.

Так, аналіз отриманих результатів дозволив встановити позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму в донних відкладах, у зябрах карася, окуня та щуки та печінці окуня й щуки (табл. 6).

Таблиця 6

Кореляційна матриця показників вмісту Феруму в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Fe(в)	Fe(ДВз)	Fe(ДВр)	Fe(кор.п)	Fe(кар.п)	Fe(ок.п)	Fe(шук.п)	Fe(кор.з)	Fe(кар.з)	Fe(ок.з)	Fe(шук.з)
Fe(в)	1,00	-0,85	-0,20	-0,12	0,56	-0,22	-0,99	0,63	-0,55	-0,47	-0,60
Fe(ДВз)	-0,85	1,00	-0,34	0,62	-0,91	0,70	0,91	-0,13	0,91	0,76	0,93
Fe(ДВр)	-0,20	-0,34	1,00	-0,95	0,70	-0,91	0,09	-0,89	-0,71	0,96	-0,67
Fe(кор.п)	-0,12	0,62	-0,95	1,00	-0,89	1,00	0,23	0,70	0,89	-0,82	0,87
Fe(кар.п)	0,56	-0,91	0,70	-0,89	1,00	-0,93	-0,65	-0,29	-1,00	0,46	-1,00
Fe(ок.п)	-0,22	0,70	-0,91	1,00	-0,93	1,00	0,32	0,62	0,93	-0,76	0,91
Fe(шук.п)	-0,99	0,91	0,09	0,23	-0,65	0,32	1,00	-0,54	0,64	0,37	0,68
Fe(кор.з)	0,63	-0,13	-0,89	0,70	-0,29	0,62	-0,54	1,00	0,30	-0,98	0,25
Fe(кар.з)	-0,55	0,91	-0,71	0,89	-1,00	0,93	0,64	0,30	1,00	-0,47	1,00
Fe(ок.з)	-0,47	-0,06	0,96	-0,82	0,46	-0,76	0,37	-0,98	-0,47	1,00	-0,43
Fe(шук.з)	-0,60	0,93	-0,67	0,87	-1,00	0,91	0,68	0,25	1,00	-0,43	1,00

Примітка. Тут і в таблицях 6–10: (в) вода, (ДВз) – донні відклади загальна форма, (ДВр) – донні відклади рухома форма, (кор.п) – короп печінка, (кар.п) – карась печінка, (ок.п) – окунь печінка, (шук.п) – щука печінка, (кор.з) – короп зябра, (кар.з) – карась зябра, (ок.з) – окунь зябра, (шук.з) – щука зябра.

Також було зафіксовано пряму залежність між концентрацією даного металу в зябрах окуня, печінці карася та в рухомій формі донних відкладів малих річок Західного Поділля.

Для Кобальту позитивних кореляцій між вмістом металу у воді, донних відкладах та тканинами прісноводних риб встановлено не було (табл. 7). Очевидно, це можна пояснити невисоким вмістом цього металу в компонентах гідроекосистем річок Серет, Стрипа та Золота Липа, а відтак і незначним біоаккумуляванням Кобальту.

Таблиця 7

Кореляційна матриця показників вмісту Кобальту в компонентах гідроекосистем малих річок  
Західного Поділля

	Co(в)	Co(ДВз)	Co(ДВр)	Co(кор.п)	Co(кар.п)	Co(ок.п)	Co(шук.п)	Co(кор.з)	Co(кар.з)	Co(ок.з)	Co(шук.з)
Co(в)	1,00	0,15	0,13	-0,78	-0,63	-0,74	-0,86	-0,81	-0,56	-0,73	-0,84
Co(ДВз)	0,15	1,00	1,00	-0,73	-0,87	-0,77	-0,63	-0,70	-0,90	-0,79	-0,66
Co(ДВр)	0,13	1,00	1,00	-0,72	-0,85	-0,76	-0,61	-0,69	-0,89	-0,77	-0,64
Co(кор.п)	-0,78	-0,73	-0,72	1,00	0,98	1,00	0,99	1,00	0,95	1,00	0,99
Co(кар.п)	-0,63	-0,87	-0,85	0,98	1,00	0,99	0,93	0,97	1,00	0,99	0,95
Co(ок.п)	-0,74	-0,77	-0,76	1,00	0,99	1,00	0,98	0,99	0,97	1,00	0,99
Co(шук.п)	-0,86	-0,63	-0,61	0,99	0,93	0,98	1,00	1,00	0,90	0,97	1,00
Co(кор.з)	-0,81	-0,70	-0,69	1,00	0,97	0,99	1,00	1,00	0,94	0,99	1,00
Co(кар.з)	-0,56	-0,90	-0,89	0,95	1,00	0,97	0,90	0,94	1,00	0,98	0,92
Co(ок.з)	-0,73	-0,79	-0,77	1,00	0,99	1,00	0,97	0,99	0,98	1,00	0,98
Co(шук.з)	-0,84	-0,66	-0,64	0,99	0,95	0,99	1,00	1,00	0,92	0,98	1,00

Для Мангану встановлено, що кількість його у воді корелювала з вмістом металу в зябрах коропа та щуки (табл. 8). Відомо, що Манган може біоконцентруватися в органах риб, що межують із водним середовищем (зябра, шкіра) [15]. При цьому вміст металу в тканинах зябер може відображати ступінь забруднення водного середовища.

Таблиця 8

Кореляційна матриця показників вмісту Мангану в компонентах гідроекосистем малих річок  
Західного Поділля

	Mn(в)	Mn(ДВз)	Mn(ДВр)	Mn(кор.п)	Mn(кар.п)	Mn(ок.п)	Mn(шук.п)	Mn(кор.з)	Mn(кар.з)	Mn(ок.з)	Mn(шук.з)
Mn(в)	1,00	-0,39	0,96	0,25	0,17	-0,85	0,34	0,78	0,28	-0,46	0,79
Mn(ДВз)	-0,39	1,00	-0,11	-0,99	-0,98	-0,15	-1,00	-0,99	-0,99	-0,64	-0,95
Mn(ДВр)	0,96	-0,11	1,00	-0,04	-0,12	-0,97	0,06	-0,00	-0,00	-0,70	-0,20
Mn(кор.п)	0,25	-0,99	-0,04	1,00	1,00	0,30	0,99	1,00	1,00	0,75	0,99
Mn(кар.п)	0,17	-0,98	-0,12	1,00	1,00	0,37	0,98	0,99	0,99	0,79	1,00
Mn(ок.п)	-0,85	-0,15	-0,97	0,30	0,37	1,00	0,20	0,26	0,26	0,86	0,45
Mn(шук.п)	0,34	-1,00	0,06	0,99	0,98	0,20	1,00	1,00	1,00	0,67	0,97
Mn(кор.з)	0,78	-0,99	-0,00	1,00	0,99	0,26	1,00	1,00	1,00	0,72	0,98
Mn(кар.з)	0,28	-0,99	-0,00	1,00	0,99	0,26	1,00	1,00	1,00	0,72	0,98
Mn(ок.з)	-0,46	-0,64	-0,70	0,75	0,79	0,86	0,67	0,72	0,72	1,00	0,84
Mn(шук.з)	0,79	-0,95	-0,20	0,99	1,00	0,45	0,97	0,98	0,98	0,84	1,00

Слід зазначити, що зростання кількості цинку в донних відкладах (валова форма) призводило до акумулювання його в зябрах усіх видів риб, а також у печінці окуня та щуки, про що свідчать високі значення коефіцієнтів Пірсона (табл. 9). Також сильні позитивні кореляції зафіксовано між показниками вмісту рухомої форми цинку в донних відкладах та кількістю металу в тканинах зябер коропа, карася та окуня.

Отже, накопичення Цинку в тканинах зябер прісноводних риб може реально відображати ступінь забруднення донних відкладів досліджуваних малих річок.



Кореляційна матриця показників вмісту Цинку в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Zn(в)	Zn(ДВз)	Zn(ДВр)	Zn(кор.п)	Zn(кар.п)	Zn(ок.п)	Zn(шук.п)	Zn(кор.з)	Zn(кар.з)	Zn(ок.з)	Zn(шук.з)
Zn(в)	1,00	-1,00	-0,95	-1,00	0,16	-0,88	-0,85	-0,97	-0,72	-0,91	-0,80
Zn(ДВз)	-1,00	1,00	0,94	1,00	-0,16	0,88	0,85	0,97	0,71	0,91	0,80
Zn(ДВр)	-0,95	0,94	1,00	0,96	0,17	0,68	0,63	0,83	0,90	0,73	0,56
Zn(кор.п)	-1,00	1,00	0,96	1,00	-0,11	0,85	0,82	0,95	0,75	0,89	0,77
Zn(кар.п)	0,16	-0,16	0,17	-0,11	1,00	-0,61	-0,66	-0,41	0,58	-0,55	-0,72
Zn(ок.п)	-0,88	0,88	0,68	0,85	-0,61	1,00	1,00	0,97	0,30	1,00	0,99
Zn(шук.п)	-0,85	0,85	0,63	0,82	-0,66	1,00	1,00	0,95	0,23	0,99	1,00
Zn(кор.з)	-0,97	0,97	0,83	0,95	-0,41	0,97	0,95	1,00	0,51	0,99	0,93
Zn(кар.з)	-0,72	0,71	0,90	0,75	0,58	0,30	0,23	0,51	1,00	0,37	0,15
Zn(ок.з)	-0,91	0,91	0,73	0,89	-0,55	1,00	0,99	0,99	0,37	1,00	0,97
Zn(шук.з)	-0,80	0,80	0,56	0,77	-0,72	0,99	1,00	0,93	0,15	0,97	1,00

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст Купруму у воді та донних відкладах (валова форма) корелював із їх кількістю в печінці окуня та щуки (табл. 10). Із наукових джерел відомо, що печінка риб є органом, який депонує високі концентрації Купруму й може слугувати для біоіндикації забруднення водних екосистем цим металом [4, 18].

Таблиця 10

Кореляційна матриця показників вмісту Купруму в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Cu(в)	Cu(ДВз)	Cu(ДВр)	Cu(кор.п)	Cu(кар.п)	Cu(ок.п)	Cu(шук.п)	Cu(кор.з)	Cu(кар.з)	Cu(ок.з)	Cu(шук.з)
Cu(в)	1,00	1,00	0,71	-0,90	-0,78	0,67	0,87	-0,77	-0,60	-0,76	-0,93
Cu(ДВз)	1,00	1,00	0,69	-0,89	-0,77	0,69	0,97	-0,76	-0,58	-0,74	-0,92
Cu(ДВр)	0,71	0,69	1,00	-0,94	-0,99	-0,05	-0,51	-1,00	-0,99	-1,00	-0,92
Cu(кор.п)	-0,90	-0,89	-0,94	1,00	0,97	-0,29	0,77	0,97	0,88	0,97	1,00
Cu(кар.п)	-0,78	-0,77	-0,99	0,97	1,00	-0,07	0,60	1,00	0,97	1,00	0,96
Cu(ок.п)	0,67	0,69	-0,05	-0,29	-0,07	1,00	-0,84	-0,05	0,19	-0,03	-0,35
Cu(шук.п)	0,87	-0,97	-0,51	0,77	0,60	-0,84	1,00	0,59	0,38	0,57	0,80
Cu(кор.з)	-0,77	-0,76	-1,00	0,97	1,00	-0,05	0,59	1,00	0,97	1,00	0,95
Cu(кар.з)	-0,60	-0,58	-0,99	0,88	0,97	0,19	0,38	0,97	1,00	0,98	0,85
Cu(ок.з)	-0,76	-0,74	-1,00	0,97	1,00	-0,03	0,57	1,00	0,98	1,00	0,95
Cu(шук.з)	-0,93	-0,92	-0,92	1,00	0,96	-0,35	0,80	0,95	0,85	0,95	1,00

Таким чином, на основі кореляційного аналізу можна оцінити, накопичення яких металів, у яких тканинах та в яких видів прісноводних риб може реально відображати концентрацію металів у воді та донних відкладах малих річок, а також їх доступність для водної біоти.

### Висновки

Встановлено високі концентрації Феруму та Мангану у воді та донних відкладах досліджуваних малих річок Західного Поділля. Високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану у донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів. Для різних металів було встановлено індивідуальні механізми акумуляції та розподілу в організмі риб. Виявлено вищі концентрації Феруму, Мангану та Цинку в печінці та зябрах досліджуваних

видів риб та значно нижчий вміст Кобальту та Купруму. Вміст металів у тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має виражену тканинну та видову специфіку. Встановлено позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму в донних відкладах, у з'ябрах карася, окуня та щуки та печінці окуня й щуки. Кількість Мангану у воді корелювала з вмістом металу у з'ябрах коропа та щуки. Зростання кількості Цинку в донних відкладах (валова форма) призводило до акумулявання його в з'ябрах усіх видів риб. Вміст Купруму у воді та донних відкладах корелював із їх кількістю в печінці окуня та щуки, що може бути застосовано в якості біоіндикативного показника забруднення водних екосистем цим металом.

1. Алехина Т. Н., Бобко А. А., Малахов И. Н. Тяжелые металлы в донных осадках рек промышленных регионов. *Довкілля і здоров'я*. 2007. № 3. С. 9–13.
2. Бреховских В. Ф. Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища. Москва : Наука, 2006. 175 с.
3. Денисова А. И, Нахшина Е. П., Новиков Б. И., Рябов В. К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев : Наук. думка, 1987. 164 с.
4. Евтушенко Н. Ю., Дудник С. В. Механизмы поступления, распределения и выведения металлов из организма рыб. *Гидробиол. журн.* 2014. Т. 50, № 4. С. 63-77.
5. Загальні етичні принципи експериментів на тваринах. *Ендокринологія*. 2003. Т. 8. № 1. С. 142–145.
6. Линник П. Н. Тяжелые металлы в поверхностных водах Украины: содержание и формы миграции. *Гидробиол. журн.* 1999. Т. 35, № 1. С. 22–42.
7. Математическая статистика для психологов. URL: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (дата звернення: 22.10.2021)
8. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін.; [за ред. В.Д. Романенка]; НАН України. Ін-т гідробіології. К. : ЛОГОС, 2006. 408 с.
9. Мизандронцев И. Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск : Наука, 1990. 176 с.
10. Моисеенко Т. И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения. *Геохимия*. 2019. Т. 64, № 7. С. 675–688.
11. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М. : Мир, 1987. 265 с.
12. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. Новосибирск : СО РАН, 2001. 58 с.
13. Халафян А. А. Промышленная статистика: Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA : Учебное пособие. М. : Книжный дом «Либроком», 2013. 384 с.
14. Хімко Р. В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки – дослідження, охорона, відновлення. К. : Інститут екології, 2003. 378 с.
15. Хоменчук В. О. Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Львів, 2003. 18 с.
16. Stumm W., Morgan J. J. Aquatic Chemistry (3rd edn.). New York : John Wiley & Sons. 1996. 515 p.
17. Valko M., Morris H., Cronin M.T. Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medical Chemistry*. 2005. Vol. 12. P. 1161–1208.
18. 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. 497 p.
19. Xiangdong Li, Zhenguo Shen, Onyx W.H Wai, Yok-Sheung Li. Chemical Forms of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 2001. Vol. 42 (3). P. 215-223.

## References

1. Alehina T. N., Bobko A. A., Malahov I. N. Tjzhelye metally v donnyh osadkah rek industrialnyh regionov. *Dovkillja i zdorovja*. 2007. 3. S. 9–13.
2. Brehovskih V. F. Kazmiruk T. N., Kazmiruk V. D. Donnye otlozhenija Ivankovskogo vodohranilishha. Moskva : Nauka, 2006. 175 s
3. Denisova A. I, Nahshina E. P., Novikov B. I., Rjabov V. K. Donnye otlozhenija vodohranilishh i ih vlijanie na kachestvo vody. Kiev : Nauka dumka, 1987. 164 s.
4. Evtushenko N. Ju., Dudnik S. V. Mehanizmy postuplenija, raspredelenija i vyvedenija metallov iz organizma ryb. *Gidrobiol. zhurn.* 2014. Т. 50, № 4. S. 63–77.

5. Zahalni etychni pryntsyipy ekperymentiv na tvarynakh. *Endokrynolohiia*. 2003. T. 8. № 1. S.142–145.
6. Linnik P. N. Tjzhelye metally v poverhnostnyh vodah Ukrainy: sodержanie i formy migracii. *Gidrobiol. zhurn.* 1999. T. 35, № 1. S. 22–42.
7. Matematicheskaja statistika dlja psihologov. URL: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/>
8. Metody hidroekolohichnykh doslidzen poverkhnevyykh vod / O. M. Arsan, O. A. Davydov, T. M. Diachenko ta in.; [za red. V. D. Romanenka] ; NAN Ukrainy. In-t hidrobiolohii. K. : LOHOS, 2006. 408 s.
9. Mizandroncev I. B. Himicheskie processy v donnyh otlozhenijah vodoemov. Novosibirsk : Nauka, 1990. 176 s.
10. Moiseenko T. I. Biodostupnost' i jekotoksichnost' metallov v vodnyh sistemah: kriticheskie urovni zagrjaznenija. *Geohimija*. 2019. T. 64, № 7. S. 675–688.
11. Mur Dzh., Ramamurti S. Tjzhelye metally v prirodnyh vodah. M. : Mir, 1987. 265 s.
12. Papina T. S. Transport i osobnosti raspredelenija tjzhelykh metallov v rechnykh ekosistemah. Novosibirsk : SO RAN, 2001. 58 s.
13. Halafjan A. A. Promyshlennaja statistika: Kontrol' kachestva, analiz processov, planirovanie jeksperimentov v pakete STATISTICA : Uchebnoe posobie. M. : Knizhnyj dom «Librokom», 2013. 384 s.
14. Khimko R. V., Merezhko O. I., Babko R. V. Mali richky – doslidzhennia, okhorona, vidnovlennia. K. : Instytut ekolohii, 2003. 378 s.
15. Khomenchuk V. O. Biokhimichni osoblyvosti pronyknennia i rozpodilu deiakykh vazhkykh metaliv v orhanizmi koropa luskatoho : avtoref. dys. ... kand. biol. nauk. Lviv, 2003. 18 s.
16. Stumm W., Morgan J.J. Aquatic Chemistry (3rd edn.). New York : John Wiley & Sons. 1996. 515 p.
17. Valko M., Morris H., Cronin M.T. Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medical Chemistry*. 2005. Vol. 12. P. 1161–1208.
18. 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. 497 p.
19. Xiangdong Li, Zhenguo Shen, Onyx W.H Wai, Yok-Sheung Li. Chemical Forms of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 2001. Vol. 42(3). P. 215-223.

V. O. Khomenchuk, N. O. Vovchek, V. Ya. Byyak, O. O. Rabchenyuk, V. Z. Kurant  
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

#### A COMPREHENSIVE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF HEAVY METALS POLLUTION IN ECOSYSTEMS OF SMALL RIVERS IN THE WESTERN PODILLIYA

The metal content (Ferrum, Cobalt, Manganese, Zinc, Copper) in water, bottom sediments and tissues of freshwater fish (carp, crucian carp, pike, perch) from small rivers of Western Podillya (Seret, Strypa, Zolota Lypa) was studied. High concentrations have been found in the water and bottom sediments of the Ferrum and Manganese, which is probably due to the inflow of these metals from the bottom sediments in conditions of oxygen deficiency. The high content of mobile form of Ferrum, Cobalt, Manganese in the bottom sediments of the Zolota Lypa can lead to secondary pollution of the water column and pose a potential danger to aquatic organisms. Individual mechanisms of accumulation and distribution in the body of fish were established for different metals. Higher concentrations in the liver and gills of the studied fish species of Ferrum, Manganese and Zinc and significantly lower contents of Cobalt and Copper were observed. The metal content in fish tissues was characterized by high variability, had a pronounced tissue and species specificity. Correlation relations between metal content in water, bottom sediments and fish tissues from small rivers of Western Podillia are analyzed. Positive correlations have been established between the content of the gross form of Ferrum in the bottom sediments, in the gills of crucian carp, perch and pike and the liver of perch and pike. The amount of Manganese in the water correlated with the metal content in the gills of carp and pike. The increase in the amount of Zinc in the bottom sediments (gross form) led to its accumulation in the gills of all fish species, as well as in the liver of perch and pike, as evidenced by the high positive values of Pearson's coefficients (0.71-0.91). The Copper content in water and bottom sediments (gross form) correlated with their amount in the liver of perch and pike, which may serve as a bioindication of pollution of aquatic ecosystems by this metal.

*Keywords: small rivers, bottom sediments, heavy metals, fish, correlation analysis.*

Надійшла 21.10.2021.