

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ УРБАНІЗОВАНИХ ДІЛЯНОК РІЧКИ ТЕТЕРІВ (ЖИТОМИР)

Скиба Галина Віталіївна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-4981-4975
Scopus Author ID: 57188747584

Кірейцева Ганна Вікторівна,

кандидат економічних наук, доцент, докторант,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1055-1784
Scopus Author ID: 55945014200

Герасимчук Олена Леонтіївна,

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1279-1888
Scopus Author ID: 57217461659

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович,

аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій,
асистент кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-3240-8719
Scopus Author ID: 59134642100

Хоменко Світлана Володимирівна,

аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0009-0002-7463-7867

У науковій статті представлені результати досліджень визначення і прогнозування концентрацій іонів есенціальних важких металів (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+}) у поверхневих водах річки Тетерів в межах міста Житомира. Здійснено моніторингові дослідження концентрацій зазначених металів протягом 2018–2023 років. Встановлено перевищення ГДК по іонам важких металів Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , що призводить до порушення біохімічних процесів і фізіологічних функцій живих організмів. Концентрації Cu^{2+} , Co^{2+} не перевищують гранично допустимих значень, проте існує потенційний ризик для здоров'я людини від хронічного впливу низьких концентрацій кобальту та купруму через тривалий вплив і потенційну взаємодію з іншими іонами металів. Вода в межах міста характеризується нестабільною якістю за вмістом мангану. Моніторинг концентрації іонів Mn^{2+} протягом року показав її зростання два рази на рік, в кінці весни і на початку осені. В ці періоди концентрація мангану перевищує гранично допустимі концентрації. Циклічний характер коливань вмісту мангану зумовлений сезонними змінами температури води та інтенсивності процесів фотосинтезу і розкладу органічних речовин, що впливають на міграцію та акумуляцію цього елемента у водному середовищі. Основним джерелом надходження важких металів до поверхневих вод є промислові підприємства внаслідок недосконалих технологій очищення стоків. Значна частка забруднень також потрапляє у водойми з поверхневими стоками урбанізованих територій та господарсько-побутовими стічними водами. Додатковим фактором забруднення води іонами важких металів є їх вивільнення з донних відкладень. Результати цього дослідження інформують про заходи щодо відновлення та управління забрудненням води в межах міста і спрямовані на захист здоров'я міського населення. Для мінімізації надходження важких металів у р. Тетерів необхідно насамперед забезпечити ефективне очищення промислових і комунальних стічних вод, поліпшити очистку дощових стоків з міських територій перед їх скидом у річку, запровадити систему сортування відходів та їх переробки, пропагувати серед населення екологічну свідомість та реалізувати програми сталого розвитку регіону.

Ключові слова: есенціальні важкі метали, водні ресурси, моніторинг, екологічна безпека, управління річковим басейном, урбанізовані території.

Skyba Halyna, Kireitseva Hanna, Herasymchuk Olena, Tsyhanenko-Dziubenko Illia, Khomenko Svitlana. Determination and prediction of the content of essential heavy metals in surface waters of urbanized areas of the Teteriv river (Zhytomyr)

The scientific article presents research findings on determining and predicting the concentrations of essential heavy metal ions (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+}) in the surface waters of the Teteriv River within Zhytomyr. Monitoring studies of the concentrations of these metals took place during 2018–2023. MPC for heavy metal ions Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} exceeds, which leads to disruption of biochemical processes and physiological functions of living organisms. The concentrations of Cu^{2+} and Co^{2+} do not surpass maximum permissible concentrations. Still, there is a potential risk to human health from chronic exposure to low concentrations of cobalt and copper due to long-time influence and possible interaction with other metal ions. Water within the city is characterized by unstable quality due to the content of manganese. Monitoring of the concentration of Mn^{2+} ions throughout the year showed an increase twice a year – in late spring and early fall. During these periods, the concentration of manganese exceeds the maximum permissible concentrations. The cyclic nature of manganese fluctuations is driven by seasonal changes in water temperature and the intensity of photosynthesis and decomposition of organic matter, which affect the migration and accumulation of the relevant element in the aquatic environment. Due to imperfect wastewater treatment technologies, industrial enterprises are the primary source of heavy metals in surface waters. A significant share of pollution also enters water bodies with surface runoff from urbanized areas and domestic wastewater. A contributing factor in water pollution by heavy metal ions is their release from bottom sediments. The present study's outcomes inform about measures to restore and manage water pollution within the city and are aimed at protecting the health of the urban population. In order to minimize heavy metal pollution in the Teteriv River, it is necessary to ensure effective treatment of industrial and municipal wastewater, improve the treatment of rainwater from urban areas before it is discharged into the river, introduce a waste sorting and recycling system, promote environmental awareness among the population, and implement sustainable development programs in the region.

Key words: essential heavy metals, water resources, monitoring, environmental safety, river basin management, urbanized areas.

Вступ. Значна група металів, які потрапляють під визначення важких беруть участь у біологічних процесах, входячи до складу ферментів, гормонів, вітамінів і т. д. До есенціальних хімічних елементів віднесені такі важкі метали, як Fe, Co, Ni, Mn, Cu, Zn, Cr, Mo та інші. Ці метали необхідні для нормального перебігу фізіологічних процесів в організмах, в тому числі гідробіонтів. Проте за високих рівнів вмісту у воді чи інших середовищах вони мають токсичну дію. Накопичення таких елементів у тканинах і органах живих організмів спричиняє порушення біохімічних процесів і фізіологічних функцій. Важкі метали вважаються системними токсикантами [1; 2]. Крім того, взаємодія, пов'язана з впливом кількох важких металів, може спричинити більш серйозні наслідки для здоров'я людини, ніж можна було б очікувати від низьких концентрацій окремого металу [3; 4].

Річка Тетерів є важливим водним ресурсом для Житомирської області, забезпечуючи питною водою населення та підтримуючи біорізноманіття регіону. Однак в останні роки спостерігається погіршення якості води в урбанізованих ділянках річки, особливо в період весняної повені та літніх місяців. За даними попередніх досліджень, вода в цих зонах характеризується нестабільними показниками якості, зокрема підвищеним вмістом фітопланктону, мангану та інших забруднювачів [5; 6; 7].

Одним з факторів, що негативно впливають на стан річки Тетерів, є незаконний видобуток піску поблизу її берегів. Ця діяльність призводить до збільшення кількості мулу у воді та акумуляції сполук мангану й інших есенціальних важких металів [4]. Крім антропогенного навантаження, на хімічний склад води та екосистему річки впливають і природні чинники, такі як ерозія гірських порід та кліматичні умови регіону [8].

Враховуючи важливість річки Тетерів для забезпечення питних і рекреаційних потреб населення та підтримки біорізноманіття, актуальним є дослідження динаміки вмісту есенціальних важких металів

у її поверхневих водах в межах урбанізованих територій. Це дозволить оцінити рівень забруднення, спрогнозувати потенційні ризики для здоров'я людей і стану екосистеми та розробити ефективні заходи з покращення якості води.

Мета роботи: дослідити динаміку вмісту есенціальних важких металів (Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, Co) у поверхневих водах урбанізованих ділянок річки Тетерів в межах міста Житомира.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС) [9], згідно з якою екологічний стан водойми оцінюється за гідробіологічними, гідрохімічними та гідроморфологічними параметрами. В рамках державної системи моніторингу довкілля України оцінювання якості поверхневих вод здійснювалось за гідрохімічними й гідробіологічними показниками.

Для оцінки якості води р. Тетерів використовувались дані моніторингу концентрацій іонів важких металів (Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Co^{2+}) у поверхневих водах в межах м. Житомира протягом 2018–2023 років. Результати порівнювались з гранично допустимими концентраціями (ГДК) для поверхневих вод згідно з санітарними правилами та нормами охорони поверхневих вод [10].

Відбір проб води здійснювався у відповідності до ДСТУ ISO 5667-6:2009 «Якість води. Відбирання проб. Настанови щодо відбирання проб води з річок та інших водотоків» [11]. Для забезпечення надійності та достовірності результатів проби відбирались у трьохкратній повторності при довірчій ймовірності $P=0,95$.

Для проведення досліджень використовувались дані Гідрометеорологічної служби України та Державного управління екологічної безпеки у Житомирській області за 2018–2023 роки. Визначення концентрацій важких металів у поверхневих водах р. Тетерів в межах м. Житомира в 2021–2023 роках проводилось у науково-дослідній лабораторії кафедри наук про Землю із

застосуванням стандартизованих методів дослідження (табл. 1) та методів статистичного аналізу. Також, було проведено критичний порівняльний аналіз власних результатів із даними інших авторів.

Застосування комплексного підходу з використанням моніторингових даних, стандартизованих методів аналізу та статистичної обробки результатів дозволило здійснити об'єктивну оцінку динаміки вмісту есенціальних важких металів у поверхневих водах урбанізованих ділянок р. Тетерів та спрогнозувати потенційні екологічні ризики.

Результати дослідження. Річка Тетерів – права притока Дніпра, відстань від гирла до основної річки складає 984 км. Похил – 0,5‰. Площа басейну – 15300 км². Річка протікає по території Київської та Житомирської областей [17]. Ріка бере початок поблизу с. Лисогірка Житомирської області, де представляє собою невелич-

кий струмок. У верхній течії річки дно і береги скелясті, в середньому і нижньому – піщані, у зв'язку з чим русло непостійне (рис. 1).

Живлення річки переважно снігове, з помітним додатком дощових та ґрунтових вод. Річний хід характеризується чітко вираженою весняною повінню, низькою меженню та періодичними дощовими паводками. Природний хід порушується зарегульованістю русла ріки.

Антропогенний вплив на водні ресурси Житомирщини, зокрема на басейн річки Тетерів, є значним і зумовлений діяльністю підприємств, які скидають зворотні води та забруднювальні речовини у поверхневі води. У 2022 році в регіоні відведено 14,526 млн. м³ стічних вод, з яких 97,3% пройшли очистку на очисних спорудах каналізації м. Житомира [18; 19; 20]. Основним забруднювачем поверхневих водойм міста (річок Тетерів та Кам'янка) є КП «Житомирводоканал», незважа-

Таблиця 1

Використані методи дослідження показників важких металів у поверхневих водах

№	Показник	Нормоване значення показника	Назва методу дослідження	Державний стандарт
1	Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,5	Фотометричний	ДСТУ ISO 6332:2003 [12]
2	Mn ²⁺ , мг/дм ³	0,1	Фотометричний	ДСТУ ГОСТ 4974:2019 [13]
3	Cu ²⁺ , мг/дм ³	180	Фотометричний	ДСТУ 7525:2014 [14]
4	Cr ³⁺ , мг/дм ³	40	Фотометричний	ДСТУ ISO 18412:2017 [15]
5	Zn ²⁺ , мг/дм ³	50	Полярграфічний	ДСТУ 7525:2014 [16]
6	Co ²⁺ , мг/дм ³	100	Фотометричний (з нітритно-R-сіллю)	ДСТУ 7525:2014 [16]



Рис. 1. Географічне розташування р. Тетерів

ючи на наявність служби промислового водовідведення та лабораторії для контролю якості стічних вод підприємств. Кількість підприємств, стоки яких приймаються на очистку/доочистку, щорічно зростає (рис. 2).

Встановлено, що основним джерелом надходження важких металів до поверхневих вод є промислові підприємства внаслідок недосконалих технологій очищення стоків. Значна частка забруднень також потрапляє у водойми з поверхневими стоками урбанізованих територій та господарсько-побутовими стічними водами [21]. Додатковим фактором забруднення води іонами важких металів є їх вивільнення з донних відкладів.

Потрапляння цинку та хрому до водойми річки Тетерів у межах міста Житомира здебільшого зумовлене скиданням неочищених промислових стічних вод підприємств. Проведений моніторинг концентрацій цинку та хрому за п'ять років та статистична обробка результатів показали перевищення ГДК для даних катіонів. Побудовані поліноміальні регресії вказують на прогнозоване зростання їх концентрацій на 2024–2026 роки (рис. 3).

Перевищення гранично допустимих концентрацій хрому і цинку у воді призводить до токсикологічного впливу на гідробіонтів. Зокрема, надлишковий вміст цинку викликає порушення фізіологічних функцій риб, загибель молоді та зниження чисельності популяцій. Надмірний хром токсично діє на зябра моллюсків та ракоподібних. Крім того, акумуляція цих металів у донних відкладах призводить до тривалої контамінації екосистеми та порушення процесів самоочищення водойми.

Підвищений вміст іонів феруму у воді річки Тетерів у межах м. Житомира також пов'язаний із скиданням неочищених стічних вод промисловими підприємствами, а також гірничою спеціалізацією регіону в цілому (рис. 4).

Перевищення гранично допустимих концентрацій хрому і цинку у воді призводить до токсикологічного впливу на гідробіонтів. Зокрема, надлишковий вміст цинку викликає порушення фізіологічних функцій риб, загибель молоді та зниження чисельності популяцій. Надмірний хром токсично діє на зябра моллюсків та ракоподібних. Крім того, акумуляція цих металів

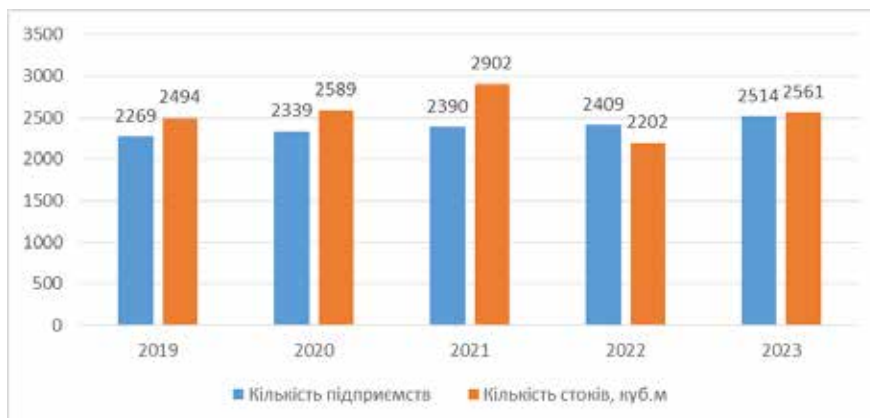


Рис. 2. Кількість підприємств та кількість стоків (м³), від яких приймаються стічні води на очистку/доочистку на очисні споруди каналізації

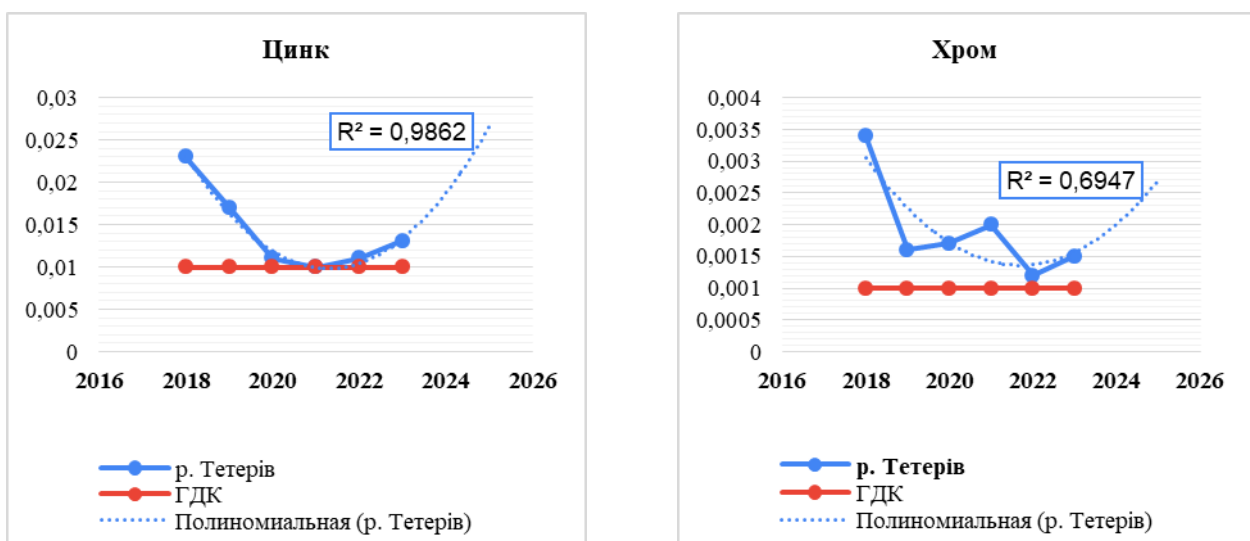


Рис. 3. Динаміка та прогноз вмісту цинку та хрому у поверхневих водах з перевищенням ГДК

у донних відкладах призводить до тривалої контамінації екосистеми та порушення процесів самоочищення водойми.

Підвищений вміст іонів феруму у воді річки Тетерів у межах м. Житомира також пов'язаний із скиданням неочищених стічних вод промисловими підприємствами, а також гірничою спеціалізацією регіону в цілому (рис. 4).

Математичний проноз вказує на можливе підвищення вмісту заліза у водному середовищі річки Тетерів (рис. 4). Для зниження надходження заліза у річку необхідне вдосконалення технологій очищення промислових стоків з використанням сучасних реагентних та сорбційних методів.

Моніторинг концентрацій іонів кобальту і міді показав не перевищення ГДК значень їх показників (рис. 5). У м. Житомирі відсутні потужні промислові об'єкти, стічні води яких могли б містити значні концентрації катіонів кобальту та міді, такі як металургійні, хімічні, електронні та електротехнічні підприємства. Основними сферами діяльності суб'єктів господарювання, які здійснюють скидання стічних вод на очисні споруди каналізації для подальшої обробки та доочи-

щення, є торгівля, громадське харчування, освіта, охорона здоров'я та виробництво.

Моніторинг концентрації іонів мангану є особливо важливим, оскільки цей мікроелемент відіграє ключову роль у метаболічних процесах водних рослин і тварин. Манган є одним з основних елементів, необхідних для окислення води в процесі фотосинтезу та утилізації карбону під час карбоксилування у зелених водоростях. Однак у концентраціях, що перевищують гранично допустимі норми, манган стає біологічно небезпечним і може розглядатися як токсикант у водних екосистемах. Основними факторами, що впливають на вміст мангану у воді, є температура та гідробіологічні показники, зокрема кількість фітопланктону.

Багаторічні спостереження за органолептичними характеристиками води в річці Тетерів виявили їх нестабільність протягом року, особливо за показником кольоровості. Головними чинниками такої варіативності є зміни температури повітря, кількісного вмісту фітопланктону в одиниці об'єму води (1 см³), а також коливання концентрації мангану. З метою детального вивчення динаміки змін вмісту мангану було проведено щомісячні дослідження протягом останніх трьох років

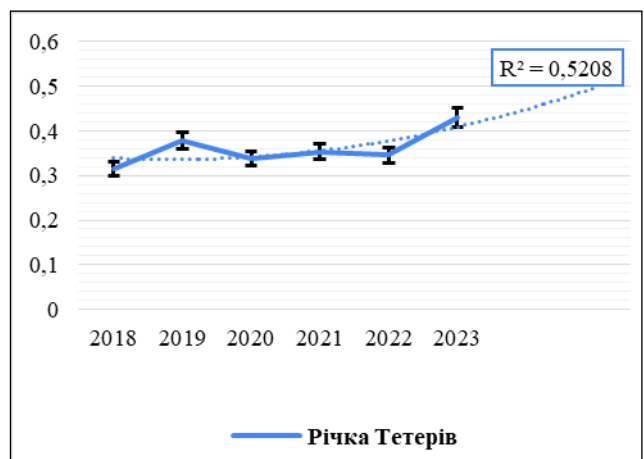
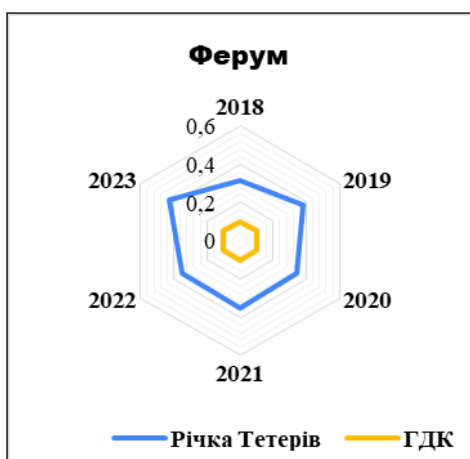


Рис. 4. Динаміка та прогноз вмісту іонів заліза

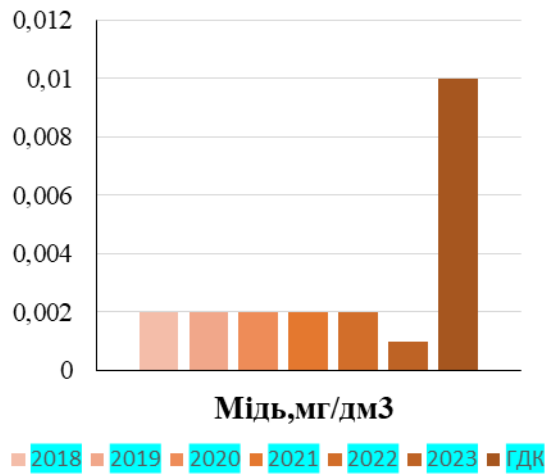
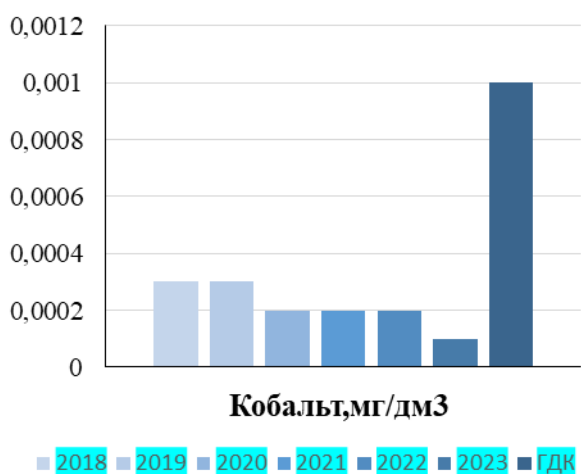


Рис. 5. Динаміка вмісту іонів кобальту та міді у поверхневих водах р. Тетерів

(рис. 6). Графік демонструє циклічні коливання вмісту Mn, що повторюються щороку. Спостерігаються два чітко виражені піки концентрацій: перший – в кінці весни – на початку літа (травень-червень), другий – в кінці літа – на початку осені (серпень-вересень). В ці періоди концентрація мангану перевищує 1 мг/дм³, що вище гранично допустимих значень.

Моніторинг концентрації іонів мангану є особливо важливим, оскільки цей мікроелемент відіграє ключову роль у метаболічних процесах водних рослин і тварин. Манган є одним з основних елементів, необхідних для окислення води в процесі фотосинтезу та утилізації карбону під час карбоксилювання у зелених водоростях. Однак у концентраціях, що перевищують гранично допустимі норми, манган стає біологічно небезпечним і може розглядатися як токсикант у водних екосистемах. Основними факторами, що впливають на вміст мангану у воді, є температура та гідробіологічні показники, зокрема кількість фітопланктону.

Багаторічні спостереження за органолептичними характеристиками води в річці Тетерів виявили їх нестабільність протягом року, особливо за показником кольоровості. Головними чинниками такої варіативності є зміни температури повітря, кількісного вмісту фітопланктону в одиниці об'єму води (1 см³), а також коливання концентрації мангану. З метою детального вивчення динаміки змін вмісту мангану було проведено щомісячні дослідження протягом останніх трьох років (рис. 6). Графік демонструє циклічні коливання вмісту Mn, що повторюються щороку. Спостерігаються два чітко виражені піки концентрацій: перший – в кінці весни – на початку літа (травень-червень), другий – в кінці літа – на початку осені (серпень-вересень). В ці періоди концентрація мангану перевищує 1 мг/дм³, що вище гранично допустимих значень.

В зимові місяці (грудень-лютий) вміст мангану мінімальний і не перевищує 0,2 мг/дм³. Протягом останніх трьох років спостерігається тенденція до зростання

концентрацій Mn в період літньо-осінніх максимумів. Так, в серпні-вересні 2023 року зафіксовані найвищі значення за весь період спостережень – до 2 мг/дм³. Циклічний характер коливань вмісту мангану зумовлений сезонними змінами температури води та інтенсивності процесів фотосинтезу і розкладу органічних речовин, що впливають на міграцію та акумуляцію цього елемента у водному середовищі.

Порівняльний аналіз отриманих результатів з даними інших досліджень показав, що забруднення поверхневих вод річок України важкими металами є поширеною проблемою. Встановлене нами перевищення ГДК для Fe, Cr, Zn та Mn у річці Тетерів узгоджується з висновками інших авторів, які виявили підвищений вміст цих металів у різних водних об'єктах країни [22–24]. Отримані результати підкреслюють необхідність подальших досліджень та практичних заходів зі зниження рівня забруднення важкими металами як на локальному, так і на глобальному рівнях.

Висновки. Встановлено перевищення ГДК по важких металах Fe³⁺, Cr³⁺, Zn²⁺, Mn²⁺, що призводить до порушення біохімічних процесів і фізіологічних функцій живих організмів, зумовлює токсикологічний вплив на гідробіонтів та порушує процеси самоочищення водойми. Концентрації Cu²⁺ та Co²⁺ не перевищують гранично допустимих значень, проте існує потенційний ризик для здоров'я людини від хронічного впливу низьких концентрацій іонів цих металів через тривалий вплив і потенційну взаємодію з іншими іонами металів. Прогнозується збереження негативних тенденцій протягом 2024–2026 років.

Для мінімізації надходження важких металів у р. Тетерів необхідно забезпечити ефективне очищення промислових і комунальних стічних вод, поліпшити очистку дощових стоків з урбанізованих територій перед їх скидом у річку, пропагувати екологічну свідомість серед населення та реалізувати програми сталого розвитку регіону.

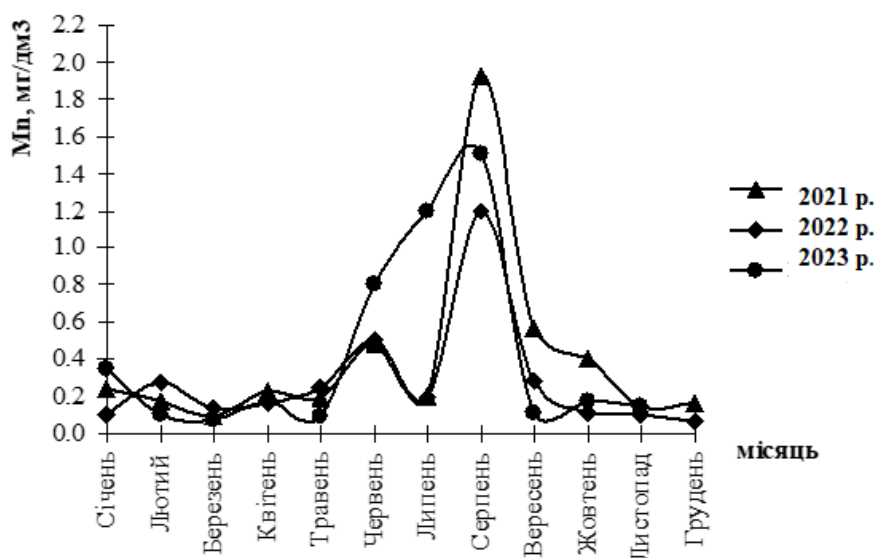


Рис. 6. Динаміка змін концентрацій мангану протягом 2021–2023 рр. в р. Тетерів

Література:

1. Mir Mohammad Ali, Mohammad Lokman Ali та ін. Preliminary assessment of the content of heavy metals in the water and sediments of the Karnafuli River. Bangladesh. Environment. Nanotechnology. Prompt. Driver. 2016. V. 5. С. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
2. Tsyhanenko-Dziubenko, V. Šerevičienė, V. Ustyomenko. Dissecting biochemical mechanisms that mediate tolerance to military chemical stressors in diverse malacological systems. Environmental problems. 2024. Vol. 9, Num. 1. URL: <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-1-2024/dissecting-biochemical-mechanisms-mediate-tolerance>
3. Liyin Qu, Hong Huang, Fang Xia, Yuanyuan Liu, Randy A. Dahlgren, Minghua Zhang, Kun Mei. Risk analysis of heavy metal concentrations in surface water at the rural-urban boundary of the Wen-Zhui Tang River, China. Environmental pollution. 2018. Volume 237. С. 639–649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.020>
4. Skyba G., Kolodii M. Quantitative assessment of water quality in the Vidsichne reservoir (Zhytomyr, Ukraine). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2023. 1254. 012084. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012084>
5. Tsyhanenko-Dziubenko, H. Kireitseva, L. Demchuk, V. Vovk. Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1, С. 1–5. EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>
6. Tsyhanenko-Dziubenko, H. Kireitseva, L. Demchuk. Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1, С. 1–5. EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066>
7. Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Кірейцева Г.В., Демчук Л.І., Скиба Г.В., Вовк В.М. Оцінка стану та фіторемедіаційного потенціалу антропогенно трансформованих гідроecosystem Малинщини. Екологічні науки. 2023. Вип. 5 (50). С. 81–87. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/5/12.pdf>
8. Thorne O., Fenner R. The impact of climate change on reservoir water quality and water treatment plant operations: a UK case study. Water and Environment Journal. 2011. № 25(1). С. 74–87. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00194.x>
9. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
10. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. Сан.Пін № 0379–96. Редак. від 29.08.2007. 50–55 с.
11. ДСТУ ISO 5667-6:2009 «Якість води. Відбирання проб. Настанови щодо відбирання проб води з річок та інших водотоків»
12. ДСТУ ISO 6332:2003 Якість води. Визначання заліза. Спектрофотометричний метод з використанням 1,10-фенантроліну (ISO 6332:1988, IDT).
13. ДСТУ ГОСТ 4974:2019 Вода питна. Методи визначення масової концентрації марганцю (ГОСТ 4974-72, IDT).
14. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості.
15. ДСТУ ISO 18412:2017 Якість води. Керівні принципи для визначення хрому методом атомної абсорбції (ISO 18412:2005, IDT).
16. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості.
17. Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України. Навчально довідковий посібник. Одеса: Астропринт, 2003. 390 с.
18. Kireitseva H., Šerevičienė V., Khrutba V., Zamula I. Internal and external factors of use and conservation of water resources in Zhytomyr region. Environmental Problems. 2024. Т. 9, № 1. URL: <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-1-2024/internal-and-external-factors-use-and-conservation>
19. Екологи назвали підприємства на Житомирщині, які скидають неочищені стоки у водойми. URL: <https://1.zt.ua/news/zdorovia/ekology-nazvaly-pidpryyemstva-na-zhytomyrshhyni-yaki-skydayut-neochyshheni-stoky-u-vodojmy.html>
20. Знову КП «Житомирводоканал» забруднює річки міста Житомир. URL: <https://polissyareg.dei.gov.ua/post/znovu-kr-zhitomirvodokanal-zabrudnyue-richki-mista-zhytomir>
21. Державне агентство водних ресурсів України. План управління річковим басейном Дніпра. URL: https://davr.gov.ua/fls18/Dnipro/S_Dnipro.pdf
22. Linnik, P. N., Zubenko, I. B. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 5(1), 11–21. URL: <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x>
23. Васенко, О.Г., Рибалова, О.В., Артем'єв, С.Р. Визначення пріоритетних важких металів у поверхневих водах р. Сіверський Донець. Екологічна безпека, (1), С. 74–81.
24. Khilchevskiyi, V.K., Kurylo, S.M., Sherstyuk, N.P. Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 27(1), 68–80. <https://doi.org/10.15421/111832>

References:

1. Ali, M. M., Ali, M. L., & others. (2016). Preliminary assessment of the content of heavy metals in the water and sediments of the Karnafuli River, Bangladesh. Environment. Nanotechnology. Prompt. Driver, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>

2. Tsyhanenko-Dziubenko, V., Šerevičienė, V., & Ustymenko, V. (2024). Dissecting biochemical mechanisms that mediate tolerance to military chemical stressors in diverse malacological systems. *Environmental Problems*, 9(1). <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-1-2024/dissecting-biochemical-mechanisms-mediate-tolerance>
3. Qu, L., Huang, H., Xia, F., Liu, Y., Dahlgren, R. A., Zhang, M., & Mei, K. (2018). Risk analysis of heavy metal concentrations in surface water at the rural-urban boundary of the Wen-Zhui Tang River, China. *Environmental Pollution*, 237, 639-649. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.020>
4. Skyba, G., & Kolodii, M. (2023). Quantitative assessment of water quality in the Vidsichne reservoir (Zhytomyr, Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254, 012084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012084>
5. Tsyhanenko-Dziubenko, H., Kireitseva, L., Demchuk, V., & Vovk, V. (2023). Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. In 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2023, No. 1, pp. 1–5). EAGE Publications BV. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>
6. Tsyhanenko-Dziubenko, H., Kireitseva, L., & Demchuk, V. (2023). Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. In 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2023, No. 1, pp. 1–5). EAGE Publications BV. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066>
7. Tsyhanenko-Dziubenko, I. Y., Kireitseva, H. V., Demchuk, L. I., Skyba, H. V., & Vovk, V. M. (2023). Assessment of the status and phytoremediation potential of anthropogenically transformed hydroecosystems of Malyn region. *Ecological Sciences*, (5(50)), 81–87. <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/5/12.pdf>
8. Thorne, O., & Fenner, R. (2011). The impact of climate change on reservoir water quality and water treatment plant operations: a UK case study. *Water and Environment Journal*, 25(1), 74–87. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00194.x>
9. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. (2000). Official Journal of the European Communities, L327, 118.
10. Sanitary rules and norms of protection of surface waters from pollution. SanPin № 0379-96. (Ed. 29.08.2007). 50–55 p.
11. DSTU ISO 5667-6:2009 «Water Quality. Sampling. Guidelines for the sampling of rivers and streams.»
12. DSTU ISO 6332:2003 «Water Quality. Determination of Iron. Spectrophotometric method using 1,10-phenanthroline (ISO 6332:1988, IDT).»
13. DSTU GOST 4974:2019 «Drinking water. Methods for determining the mass concentration of manganese (GOST 4974-72, IDT).»
14. DSTU 7525:2014 «Drinking water. Requirements and quality control methods.»
15. DSTU ISO 18412:2017 «Water Quality. Guidelines for the determination of chromium by atomic absorption spectrometry (ISO 18412:2005, IDT).»
16. DSTU 7525:2014 «Drinking water. Requirements and quality control methods.»
17. Shvebs, H. I., & Ihoshyn, M. I. (2003). Catalogue of rivers and reservoirs of Ukraine. Odesa: Astroprint.
18. Kireitseva, N., Šerevičienė, V., Khrutba, V., & Zamula, I. (2024). Internal and external factors of use and conservation of water resources in Zhytomyr region. *Environmental Problems*, 9(1). <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-1-2024/internal-and-external-factors-use-and-conservation>
19. Ecologists named enterprises in Zhytomyr region that discharge untreated wastewater into water bodies. (n.d.). <https://1.zt.ua/news/zdorovia/ekology-nazvaly-pidpryyemstva-na-zhytomyrshhyni-yaki-skydayut-neochyshheni-stoky-u-vodojmy.html>
20. Zhytomyrvodokanal again pollutes the rivers of Zhytomyr. (n.d.). <https://polissyareg.dei.gov.ua/post/znovu-kp-zhitomirvodokanal-zabrudnyue-richki-mista-zhitomir>
21. State Water Resources Agency of Ukraine. (n.d.). Dnipro River Basin Management Plan. https://davr.gov.ua/fls18/Dnipro/S_Dnipro.pdf
22. Linnik, P. N., Zubenko, I. B. (2000). Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 5(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x>
23. Vasenko, O. H., Rybalova, O. V., & Artemiev, S. R. (2017). Determination of priority heavy metals in the surface waters of the Siverskyi Donets River. *Environmental Safety*, (1), 74–81.
24. Khilchevskiy, V. K., Kurylo, S. M., & Sherstyuk, N. P. (2018). Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(1), 68–80. <https://doi.org/10.15421/111832>