

**Всеукраїнський конкурс наукових студентських робіт
зі спеціальності «Науки про Землю (гідрометеорологія)»**

**Шифр
«Потенціал річки»**

**МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ УРБАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА
ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ТА ГІДРОХІМІЧНИЙ СКЛАД РІЧКИ
ТЕТЕРІВ**

2024

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ	6
1.1. Оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів	6
1.2 Сучасний та європейський досвід управління водними ресурсами	8
1.3. Стан водних ресурсів у Житомирській області	9
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ТЕТЕРІВ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
2.1 Визначення та характеристика об'єкту дослідження.	12
2.2 Антропогенні втручання	13
2.3. Методи і засоби дослідження.	14
2.4. Загальна методика встановлення індексу забруднення води	16
2.5. Методики визначення гідрохімічних показників якості води	17
РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ГІДРОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ р. ТЕТЕРІВ В МЕЖАХ м. ЖИТОМИРА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЙОГО ОПТИМІЗАЦІЇ	20
3.1. Дослідження вмісту важких металів в р. Тетерів та джерел їх надходження	20
3.2. Моніторинг та прогнозування вмісту аніонних композицій та розчиненого у воді кисню	22
3.3. Розроблення рекомендацій щодо оптимізації екологічного стану р. Тетерів та їх економічне обґрунтування	25
ВИСНОВКИ	28
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	30

ВСТУП

Вода – є одним з найважливіших елементів навколишнього середовища, який необхідний для життєдіяльності людини та всього живого. Велика кількість питної води гарантованої якості необхідна для санітарних та господарсько-побутових цілей. Вода має епідемічне значення. У всіх випадках вода повинна відповідати всім державним стандартам за органолептичним, хімічним та бактеріологічним складом. В зв'язку з цим, питання забезпечення населення м. Житомира доброякісною питною водою є однією з найважливіших проблем міста. Проблеми якості питної води в місті Житомирі, особливо актуальні в теперішній час.

Вода, що подається в місто Житомир централізовано з міського водопроводу забирається з р. Тетерів в районі водозабору «Відсічне». Вода у водосховищі характеризується нестабільною якістю, особливо в період проходження весняного паводку та літні місяці. Якість води в ці періоди погіршується, за рівнем фітопланктону, мангану та іншими гідрохімічними показниками. Тому, дослідження показників стану річки Тетерів, як джерела питного водопостачання є актуальною проблемою.

Метою дослідження є встановлення та обґрунтування екологічного стану води в річці Тетерів, вивчення динаміки змін гідрохімічних показників води в межах м. Житомира.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**:

- розрахувати індекс забруднення води;
- визначити екологічний коефіцієнт якості води;
- встановити рівень забруднення води;
- дослідити динаміки зміни гідрохімічних показників протягом останніх років (2018-2021);

- встановити залежності, що пов'язують концентрацію мангану, кількість водоростей і температурою з метою прогнозування якості питної води.

Об'єкт дослідження: річка Тетерів.

Предметом дослідження: гідрохімічний статус річки Тетерів.

Методи досліджень: в роботі використаний комплекс методів, а саме: теоретичні (аналіз, синтез, узагальнення науково-технічної літератури), лабораторні дослідження, математично-статистична обробка результатів із використанням засобів обчислювальної техніки.

Наукова новизна:

1. Встановлено якість питної води за манганом у водосховищі «Відсічне» на основі індексу забруднення, екологічного коефіцієнту якості та рівня забруднення води .

2. Встановлено і підтверджено аналітично взаємозв'язок між концентрацією мангану, фітопланктоном і температурою у воді.

Практичне значення:

1. Використання встановлених залежностей між вмістом мангану, фітопланктону і температурою та між манганом і кількістю водоростей дають можливість прогнозувати якість води.

2. Запропоновані теоретичні розробки, які базуються на виконаних дослідження дають змогу регулювати параметри якості води, приймаючи відповідні заходи.

Теоретичне значення отриманих результатів. Реалізації даного наукового дослідження підтверджує концепцію сталого розвитку міст (Е. Геддес, П. Геддес, Л. Мамфорд), концепцію екологічної ємності (Ю. Одум), учення про екосистеми (А. Тенслі, Р. Ліндеман).

Результати роботи впроваджено в діяльність Громадської організації «Фонд сталого розвитку України», ГО «Захист малих річок України».

Публікації:

1.[Потенціал річки] Аналіз сучасних експрес-методів визначення метал-іонів у воді. Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування» 16 листопада 2023 року. С. 254.

Структура та обсяг наукової роботи:

Наукова робота викладена на 32 сторінці друкованого тексту. Вона складається з вступу, літературного огляду, методів та методик дослідження, результатів дослідження та їх обговорення, висновків та пропозицій, списку посилань, що вміщує 20 найменувань. Текст ілюстровано 1 таблицею та 9 рисунками.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

1.1. Оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів

Основними принципами й методами оцінювання та нормування якості природних ресурсів є управління в галузі, охорони й управління водних ресурсів є положення, на основі яких будується водогосподарська політика і які становлять теоретичну базу водоохоронної діяльності. У цій галузі існують міжнародні екологічні принципи управління та принципи, що використовуються в окремих країнах.

Обмеженість у водних ресурсах в Україні вимагає таких засад управління, комплексного використання й охорони вод, які б відповідали сучасним вимогам, що постають перед країнами Європи. Особливу увагу необхідно приділяти питанням управління якістю водних ресурсів річкових басейнів на основі комплексних екологічних оцінок фізичних властивостей, хімічного й гідробіологічного складу вод.

Якість вод разом із кількісною оцінкою їх ресурсів має велике значення під час планування водогосподарських заходів. Вона становить набір показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод і дає змогу оцінити їх стан.

Відповідно до Водної рамкової директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС), екологічний стан водойми оцінюється на основі трьох основних груп параметрів: гідробіологічних, гідрохімічних і гідроморфологічних [1]. У рамках державної системи моніторингу довкілля України оцінювання якості поверхневих вод ведеться окремо за гідрохімічними й гідробіологічними показниками. Основний принцип оцінювання якості водного середовища, що використовується вже тривалий час у водоохоронній практиці нашої країни, полягає в визначенні в окремих точках водного об'єкта хімічного складу,

фізичних властивостей і бактеріологічних показників води та зіставлення результатів з нормативними величинами відповідних показників.

Однак цей метод не може стати робочим інструментом оцінювання якості води в повсякденній практиці, за допомогою якого можна було б дослідити воду що до певного класу за якістю. Це пов'язано з тим, що сучасні методи визначення багатьох хімічних речовин у воді на рівні гранично-допустимих концентрацій (далі – ГДК) вкрай неточні, трудомісткі й дорогі.

За всіх недоліків концепції ГДК іншого загальноновизнаного варіанта застосування наявних екологічних нормативів сьогодні у світі не існує.

Багатьма фахівцями з охорони якості вод застосовується альтернатива цього методу нормування якості вод – оцінювання якості води з використанням біотестування й гідрохімічних показників.

Питання оцінювання якості води тісно пов'язане з нормативами якості, розробленими для природних вод. Спочатку такі нормативи розроблялися залежно від водогосподарського індексу водного об'єкта. Натепер нормування вмісту хімічних речовин у водних середовищах здійснюється через численні переліки забруднюючих речовин, прийняті різними відомствами, які не пов'язані ні єдиними нормативними документами, ні єдиними підходами до проблеми нормування якості води.

Науковці виділяють 3 варіанти оцінювання з погляду будь-якого виду водокористування [10]:

1. Диференційний метод, який базується на використанні одиничних показників якості, що характеризує одну її властивість. Цей метод лежить в основі санітарно-епідеміологічної оцінки якості води й базується на контролі параметрів, закріплених у нормативних документах.

2. Комплексний підхід, який базується на використанні комплексних показників, що характеризують кілька її властивостей. До них можна зарахувати, наприклад, показники генотоксичності води.

3. Інтегральний підхід, який базується на використанні суми показників її якості. Цей підхід реалізовано в тому, що інтегральна оцінка питної води

централізованих систем водопостачання за показниками хімічної безпечності базується на введенні вагових коефіцієнтів ризиків від певних видів забруднювачів до розрахункової формули інтегрального показника.

Варто наголосити, що екологічна класифікація поверхневих вод України повністю відповідає рекомендаціям Водної рамкової директиви ЄС. Проте через відсутність необхідної інституційної структури та відповідного нормативно-правового забезпечення басейновий принцип управління в Україні не досягнув того рівня, який існує в розвинених країнах.

1.2. Сучасний та європейський досвід управління водними ресурсами

Серед сучасних викликів людству найгострішим є дисбаланс між водокористуванням і наявними водними ресурсами. Вже сьогодні в умовах постійної нестачі води проживає не менше 1,1 млрд. населення. За даними ООН до 2025 року половина населення Землі буде страждати від дефіциту прісної води.

Проблеми водогосподарського комплексу обумовлені, в першу чергу, кардинальними змінами інституційних умов у державі, послабленням системи державного управління, багаторазовим зменшенням обсягів фінансування водогосподарських заходів щодо забезпечення його нормального функціонування і розвитку.

Досвід багатьох країн свідчить, що басейновий принцип є найбільш ефективним підходом до управління водними ресурсами. Декларує басейнову модель управління водними ресурсами Рамкова Водна Директива Євросоюзу [1].

Басейновий принцип управління водними ресурсами – це сучасний підхід до управління водними ресурсами, де основним суб'єктом управління виступає річковий басейн.

Перехід до басейнової моделі управління водними ресурсами – досить складний і тривалий процес. Він розпочинається з визначення водної політики, створення правової бази і системи фінансування. Подальший розвиток

управління водними ресурсами за басейновим принципом приведене до інтегрованого управління водними ресурсами (ІУВР) [15, 18].

Даний принцип формує комплексний підхід до досягнення консенсусу і компромісів між конкурентними потребами у водних ресурсах різних секторів суспільства і зацікавлених груп на всіх рівнях, а також досягнення рівності й справедливості у користуванні водними ресурсами різних країн.

Приклади іноземних країн в управлінні водними ресурсами показують загальні переваги такого підходу, особливо враховуючи динаміку водних відносин:

1. При введенні єдиної керуючої організаційної структури в комплексній гідрографічній системі, водокористування приводиться до вимог користування водою.

2. Система погоджених правил визначає права, обов'язки і відповідальність кожного водокористувача і, в той же час, організовує поділ води і внесок в експлуатацію системи.

3. Існує загальне розуміння, що така узгодженість є вигідною для всіх, тобто середній дохід кожного водокористувача вище, коли всі водокористувачі співпрацюють, а не конкурують.

Інтегроване управління водними ресурсами має базуватись на методології, основою якої є застосування на етапах планування і реалізації управлінських дій норм водоспоживання і водовідведення, збалансованих за допомогою емпіричних формул, які апроксимують зв'язок між елементами водогосподарського балансу по галузях національної економіки та річкових басейнах [15].

1.3. Стан водних ресурсів у Житомирській області

Житомирська область, порівняно з іншими областями України, належить до регіону з низькою водозабезпеченістю. Площі, зайняті водними об'єктами, становлять 138,6 тис. га, тобто 4,6 % від загальної території області. Найбільша частина області належить басейну правої притоки Дніпра – р. Прип'ять (54 %),

в басейні р. Тетерів розміщено 38 % її території, в басейні р. Ірпеня – 3,5 %, в басейні р. Рось – 4,5 %. Водозабезпечення промислових підприємств і населення міста Житомира здійснюється з річки Тетерів [2, 6].

Житомирська область розташована в північно-західній частині України, межує на півночі з Гомельською областю республіки Білорусь, на заході з Хмельницькою і Рівненською, на сході - з Київською, на півдні з Вінницькою областю. Гідрографічна мережа Житомирської області розташована у межах суббасейну річки Прип'ять (56%) території та середнього Дніпра (44 %). Поверхневі водні ресурси в області формуються в основному із місцевого стоку у річковій мережі переважно на власній території, за рахунок атмосферних опадів, а також транзитного стоку, який надходить із суміжних областей. Середня величина річкового стоку складає 3300 млн. куб. м, з них на території області формується 2800 млн. куб. м. В області нараховується 2822 річки загальною протяжністю 13,7 тис. км, із них 329 - довжиною більше 10 км, протяжністю 6692 км і 2493 – довжиною менше 10 км, протяжністю 7062 км [3]. В структурі гідрографічної сітки великих річок немає, середніх річок вісім: Тетерів, Случ, Ірша, Уборть, Ствига, Словечна, Уж та Ірпінь. Водність рік області досить нерівномірна по сезонах року та кліматичних зонах. Так водність рік в північних районах в 1,5-2 рази вище ніж у південних.

В області нараховується 53 водосховища, загальною площею 7,7 тис. га та сумарним об'ємом 181,7 млн.м³. Наявність водосховищ та ставків дозволяє певною мірою здійснювати сезонний перерозподіл стоку, створювати необхідні запаси води, забезпечувати потреби населення і галузей економіки у водних ресурсах. Загальна кількість озер в області - 9 шт., площа дзеркала яких становить 515,9 га. Згідно державного водообліку за 2022 рік у структурі кількості водокористувачів Житомирської області: 96 - комунальні підприємства, 264 – промисловість, 364 – сільське господарство та 152 - інші галузі. Джерелом водопостачання населення та галузей економіки області є поверхневі води - 75 % (72,49 млн.м.куб) та підземні води - 25 % (23,82 млн.м.куб) [4, 7]. Найбільшим джерелом водопостачання являється басейн

річки Тетерів, з якого у 2022 році було забрано 59,694 млн.м³, або 62,0 % відсотка від загального водозабору області [5, 6].

Структура водокористування за 2022 рік виглядає наступним чином: 20,2 % (19,48 млн. м³) водних ресурсів забирається промисловістю, 38,3 % (36,89 млн. м³) житлово-комунальним господарством, 37,8 % (36,44 млн. м³) сільським господарством, 3,7 % (3,5 млн. м³) забирається іншими галузями (рис. 1.1) [6].

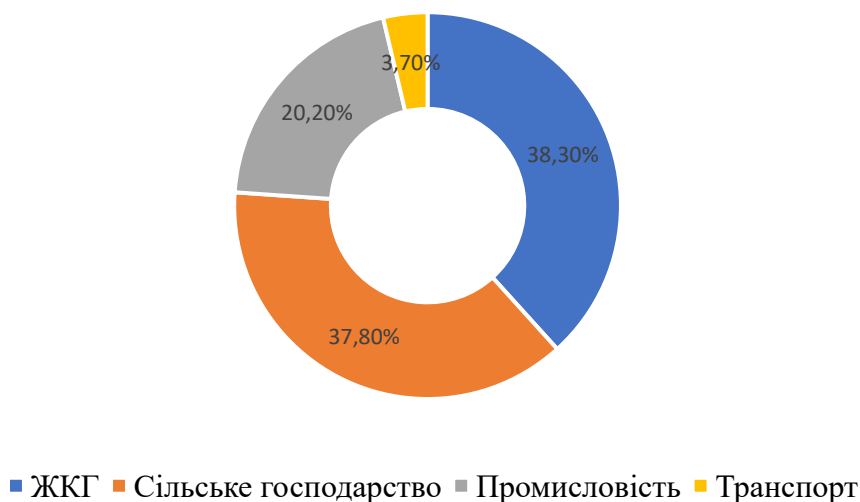


Рис. 1. 1. Структура водокористування у межах Житомирської області за 2022 рік

Отже, водні ресурси мають надзвичайно важливе екологічне значення, а також відіграють важливу роль в економічному і соціальному розвитку країни. Здійснений аналіз стану водних ресурсів Житомирської області дозволяє стверджувати, що основними проблемами у цій сфері є інтенсивне використання підземних джерел, а також суттєве забруднення поверхневих водних об'єктів області. Застосування комплексу нормативно-правових, адміністративних, економічних, інженерно-технічних та виховних інструментів стимулюватиме зниження водоспоживання, впровадження маловодних технологій, реконструкцію та будівництво нових очисних споруд, що дозволить суттєво поліпшити стан водних ресурсів Житомирської області.

РОЗДІЛ 2

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ТЕТЕРІВ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Визначення та характеристика об'єкту 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 [4, 7]. Ріка бере початок поблизу с. Лисогірка Житомирської області, де представляє собою невеличкий струмок. У верхній течії річки дно і береги скелясті, в середньому і нижньому - піщані, у зв'язку з чим русло непостійне (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Географічне розташування р. Тетерів

Ширина його в верхів'ї становить 3-10 м, в середній і нижній течії – до 40-100 м, а в гирлі – до 200 м. У верхній течії переважають круті, високі береги, в нижній частині - низькі, затоплені. Якщо розглядати тектонічну будову країни, то басейн ріки Тетерів лежить на Волинському блоці, на Північно-Східному схилі Українського щита та на Овруцькому кряжі. Майже до

Радомишля течія Тетерева швидка, в окремих місцях є перекати і навіть водоспади. Більш спокійний плин в нижній частині річки. Вище м. Житомира в неї впадають три притоки – Гнилоп'ять, Чуйка та Лісова Кам'янка. З них найбільш значна Гнилоп'ять, яка характеризується високою швидкістю течії [4, 8].

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.

Територія на якій протікає річка Тетерів – територія Полісся. Клімат території помірно континентальний - з теплим вологим літом і м'якою хмарною зимою. Середня температура: літня – +18,5°C, зимова – -5,5°C, середня середньорічна кількість опадів – 753 мм [2, 6]. Основні риси клімату території формуються під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих факторів. Головним з них являється приплив тепла від сонця, який в основному залежить від географічної широти місцевості, збільшується з півночі на південь. Дуже важливим чинником є також атмосферна циркуляція

2.2. Антропогенні втручання

Антропогенний вплив на річку Тетерів та інші водні ресурси Житомирщини є досить помітним. Антропогенне навантаження на водний басейн річки Тетерів спричинене рядом підприємств, які скидають зворотні води та забруднювальні речовини у поверхневі води басейну.

За даними Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації протягом 2022 року скиди стічних вод у поверхневі водні об'єкти області надходили із 164 точкових джерел. Загалом у 2022 році у поверхневі водойми відведено 2,109 млн. м³ забруднених зворотних (стічних) вод, що на 0,206 млн. м³ (10,8 %) більше порівняно з 2021 роком [6].

За результатами аналітичного контролю у 2022 році визначено 13 підприємств, які скинули в поверхневі водні об'єкти стічні води з порушенням

встановлених нормативів гранично-допустимого скиду. Найбільші обсяги зворотних вод з перевищенням нормативів ГДС на водогосподарській ділянці р. Тетерів від витоку до м. Житомир скинули: ТОВ «Комплекс екологічних споруд» м. Бердичів, КП «Озерне» Новогуївинської селищної ради, м. Житомир, Взагалі без очистки відводили у р. Гнилоп'ять дощові води з території м. Бердичів МКП «Бердичівкомунсервіс» та мали місце аварійні скиди зворотних вод з каналізаційних насосних станцій м. Житомира (рис. 2. 2) [6].

Значного впливу зазнає р. Тетерів від м. Житомир до гирла р. Ірша з боку водокористувачів, які скинули зворотні води з перевищенням нормативів гранично допустимого скиду: МКП «Водоканал» Коростишівської ТГ, КП «Іршанське комунальне підприємство» Іршанської ТГ, Макарівська квартирно-експлуатаційна частина району. Порівняно з 2021 роком спостерігається тенденція до підвищення вмісту забруднюючих речовин у зворотних водах, які відводились у поверхневі водойми: залізо загальне, БСК, СПАР, нітрити, нітрати, фосфати, хлориди.

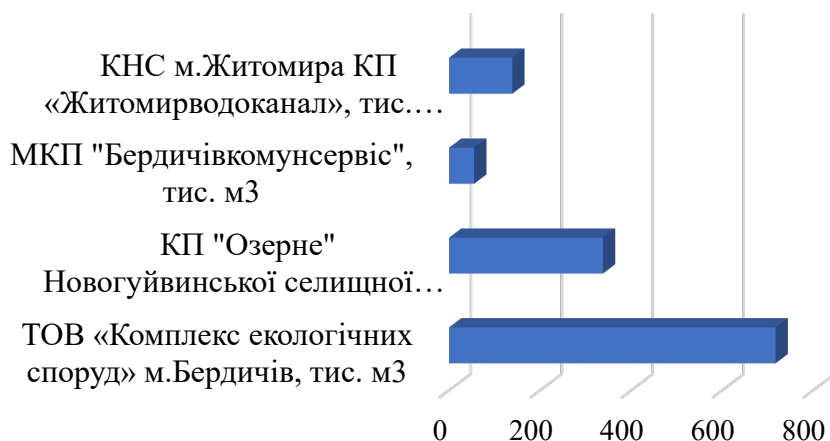


Рис. 2.2. Обсяги скидів зворотних вод з перевищенням нормативів ГДС підприємствами поблизу м. Житомира у 2022 році [6]

Щоб забезпечити збереження та сталий розвиток водних ресурсів Житомирщини, необхідно приймати ефективні заходи щодо охорони довкілля та їх управління. Такі як збільшення контролю над підприємствами, а саме

збільшення контролю за викидами стічних вод у річку тобто встановлення моніторингових систем. Проведення модернізації очисних споруд на згаданих підприємствах. Запровадження системи сортування відходів та їх переробки, пропаганда серед населення екологічної доброчесності, проведення екологічних акцій, Розроблення та запровадження програми зеленого туризму.

2.3. Методи і засоби дослідження.

Якість води значною мірою залежить від її йонного складу. Для переважної більшості природних вод загальний солевміст доволі чітко визначається катіонами (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) і аніонами (SO_4^{2-} , Cl^-). Впродовж 2018 – 2023 років був проведений моніторинг гідрохімічних показників поверхневих вод річки Тетерів поблизу м. Житомира. Визначення гідрохімічних показників проводився згідно із загальноприйнятими методиками, які наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Використані методи дослідження гідрохімічних показників води

№	Показник	Нормоване значення показника	Назва методики	Державний стандарт
1	pH	6,5-8,5	Потенціометричний	ДСТУ ISO 4077-2001
2	Твердість заг., ммоль-ек./дм ³ ,	7	Титрометричний	ДСТУ ISO 6059:2003
3	NO_3^- , мг/дм ³	45	Фотометричний	ДСТУ 7890-1:2003
4	NO_2^- , мг/дм ³	3,3	Фотометричний	ДСТУ ISO 6777:2003
5	SO_4^{2-} , мг/дм ³	500	Фотометричний	ГОСТ 4389-82
6	Cl^- , мг/дм ³	350	Титрометричний	ДСТУ ISO 9393-1:2003
7	Fe^{3+} , мг/дм ³	0,5	Фотометричний	ДСТУ ISO 6332:2003
8	Mn^{2+} , мг/дм ³	0,1	Фотометричний	ГОСТ 4974-72
9	Ca^{2+} , мг/дм ³	180	Титрометричний	ДСТУ ISO 6058:2003
10	Mg^{2+} , мг/дм ³	40	Титрометричний	ДСТУ ISO 6059:2003
11	K^+ , мг/дм ³	50	Фотометричний	ДСТУ ISO 9964-3:2015
12	Na^+ , мг/дм ³	120	Фотометричний	ДСТУ ISO 9964-3:2015

Згідно із ДСТУ ISO 5667-2:2003 проби води відбиралися у трьохкратній повторності (при $P=0,95$) для отримання надійної та достовірної інформації щодо хімічного складу [16].

Традиційно, хімічний склад також був оцінений, розраховуючи формулу Курлова, що представляє собою псевдодріб, у чисельнику якого в порядку спадання вказується процентний уміст аніонів, а в знаменнику – катіонів. Серед великого різноманіття методів та методик оцінки природних рекреаційних ресурсів вагоме місце займає екологічна оцінка, як самостійний комплексний підхід [9, 17]. Це зумовлено зростаючим антропогенним впливом на природні водойми, і як наслідок – загрозливий стан гідроекосистем. Для дослідження гідроекологічного стану поверхневих вод р. Тетерев використовувався гідрохімічний індекс забруднення води (ІЗВ), який належить до категорії показників, що найчастіше застосовуються для оцінки якості води водних об'єктів.

2.4. Загальна методика встановлення індексу забруднення води

Встановлення індексу забруднення води є багатоетапним процесом, який включає в себе збір та аналіз різноманітних параметрів води. Одним із поширених підходів є використання індексу якості води (Water Quality Index, WQI) [10]. Нижче подано загальну методику для визначення індексу забруднення води:

Вибір параметрів води. Визначити набір параметрів, які впливають на якість води. Це може включати хімічні, фізичні та біологічні показники, такі як концентрація розчинених речовин, рівень кислотності (рН), рівень кисню, концентрація бактерій тощо.

Визначення стандартів. Встановити стандарти якості води для кожного вибраного параметра. Стандарти можуть бути визначені національними або міжнародними організаціями, такими як Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO), Агентство захисту довкілля США (EPA) та інші.

Збір даних. Зібрати дані про концентрацію кожного параметра води в обраному регіоні. Дані можуть бути отримані в результаті водних випробувань, які виконуються на місці або в лабораторії.

Нормалізація даних. Нормалізувати значення кожного параметра на основі визначених стандартів. Використовуйте відсоткову шкалу чи інші методи нормалізації, які відображають відхилення від стандартів.

- Вагові коефіцієнти:

Присвоїти вагові коефіцієнти кожному параметру води відповідно до його важливості для якості води. Наприклад, концентрація шкідливих речовин може мати більший вплив на загальну якість води, ніж фізичні показники.

- Розрахунок індексу:

Застосувати вагові коефіцієнти до нормалізованих значень параметрів і підсумуйте їх. Це буде загальний індекс забруднення води.

- Категоризація індексу:

Розбити значення індексу на категорії для легкості інтерпретації. Наприклад, індекс може бути розділений на категорії "відмінно", "добре", "задовільно", "погано" та "жахливо".

- Візуалізація та інтерпретація результатів:

Представити індекс забруднення води у вигляді графіків чи карт. Здійснити аналіз результатів та визначте основні джерела забруднення води та області, які потребують подальших заходів.

Застосування індексу забруднення води дозволяє ефективно визначати рівень якості води та допомагає приймати рішення щодо заходів з її покращення. Важливо враховувати, що методика може варіювати в залежності від конкретного контексту та вимог стандартів, що застосовуються в конкретному регіоні.

2.5. Методики визначення гідрохімічних показників якості води

Для визначення гідрохімічного складу якості вод застосовують фізико-хімічні методи дослідження (атомно-абсорбційна та емісійна-флуоресцентна

спектроскопія, вольтамперометрія, полярографія, потенціометрія, електрохімічний інверсійний аналіз) [11, 12]. Разом з тим, вищенаведені методи не можуть у повній мірі забезпечити потреби лабораторій екологічного контролю, оскільки потребують дорогого обладнання та хімічних реактивів, і, як наслідок, мають значну собівартість аналізу проби. Окрім цього, дані, отримані фізико-хімічними методами, зазвичай, порівнюють з санітарно-гігієнічними нормативами (ГДК, ГДС), які не відображають небезпеки середовища для водної біоти. Таким чином, до складної і багатогранної проблеми, яку представляє собою забруднення навколишнього середовища, зокрема джерел водопостачання, професійний інтерес проявляють не лише хіміки-аналітики, а й біологи, медики та екологи. Тому все більшого розповсюдження набувають методи біологічного тестування (біотестування) – дослідження реакцій живих організмів у відповідь на дію токсичних речовин. Біотестування як інтегральний метод оцінки токсичності водного середовища є не тільки необхідним доповненням до існуючої системи хіміко-аналітичного контролю гідроекосистем, але й засобом отримання принципово нової інформації щодо складу та властивостей поллютантів [19, 20]. На відміну від фізичних та хімічних підходів до оцінки забруднення, біологічне тестування має прогностичне значення – за станом біоти, її кількісними та якісними перетвореннями можливо передбачати трансформації, які очікують живі організми за даного рівня забруднення. За даними Л. П. Брагінського, С. О. Патіна, біотест – це система або певний набір взаємопов'язаних елементів, що складається з трьох основних частин: тест-об'єкт, на який спрямовується вплив; методики або набору методик для реєстрації певної реакції або характеристик (тест-функція) та методів обробки отриманої інформації. В якості тест-об'єктів застосовують гідробіонтів усіх систематичних груп від бактерій до риб, однак жоден з них не є універсальним, найсенситивнішим до усіх поллютантів. В числі ключових біотичних компонентів трофічних кіл гідроекосистем знаходяться безхребетні гідробіонти – червоногі, голошкірі, губки, кишковопорожнинні, ракоподібні, що обумовлює використання їх у якості аналітичних індикаторів

стану водного середовища. До недоліків використання дафній в якості біотесту можна віднести труднощі їх розведення взимку та важкість у підтриманні культури. Ще одним розповсюдженим тест-об'єктом серед безхребетних є *Hydra attenuata* (*Hydra vulgaris*) – одне з найчисельніших кишковопорожнинних більшості прісноводних водойм помірних та тропічних широт. В природних гідросистемах гідри відіграють важливу роль консументів перших порядків, виконуючи роль харчового елементу для багатьох безхребетних тварин та молоді деяких риб. Крім того, примітивна будова організмів, низька біологічна організація, темпи регенерації тканин дозволяють використовувати гідр як індикаторів якості середовища. За результатами експериментів D. Holdway та B. Quinn встановлено високу чутливість гідри до дії катіонів важких та перехідних металів, зокрема – іонів міді, кадмію та цинку. Сенситивність до впливу металів, як правило, пов'язують з відсутністю у *H. attenuata* металозв'язуючих білків металотіонеїнів, які відповідають в організмі за поглинання, транспорт та регуляцію металів. Ця особливість робить гідру одним з найефективніших біоіндикаторних видів для оцінки впливу металів в гідро-екосистемах. Риби – це універсальний об'єкт гідробіологічних досліджень, який дозволяє встановити ступінь дії полютантів на живий організм та оцінити процеси трансформації водних екосистем. Широке використання *Danio rerio* (в англійській літературі «zebrafish») як модельного об'єкту у біології, медицині та екології обумовлене такими властивостями: стрімкий розвиток, значна відтворюваність, швидка тривалість експерименту, висока чутливість, легкість маніпуляцій з геномом [13, 19, 20].

Таким чином, аналіз літературних джерел вказує на необхідність комплексних досліджень стану джерел питного водопостачання, в тому числі, з використанням біологічних методів оцінки на різних рівнях біологічної організації (клітинному, органному, організмовому, популяційному) з метою оптимізації існуючих методів і підходів до екологічної оцінки якості води.

РОЗДІЛ 3

КОМПЛЕКСНА ГІДРОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА Р. ТЕТЕРІВ У МЕЖАХ М. ЖИТОМИРА

3.1. Дослідження вмісту важких металів у річці Тетерів та джерел їх надходження

Потрапляння катіонів кобальту, міді та нікелю у водне середовище річки Тетерів, що протікає через місто Житомир, відбувається декількома шляхами. Одним з основних джерел надходження цих металів є скиди неочищених або недостатньо очищених стічних вод промислових підприємств регіону. Зокрема, підприємства металургійної, машинобудівної та хімічної промисловості. Не ефективна робота очисних споруд на таких об'єктах призводить до потрапляння неочищених стоків безпосередньо у водойму. Ще одним фактором є скиди побутових стічних вод з житлової забудови міста. Потрапляння залишків мийних та чистячих засобів, які містять сполуки важких металів (ВМ), також забруднює річку (рис. 3.1). Крім того, дощові та талі води змивають забруднення з доріг та інших міських територій, у тому числі від автотранспорту, і стікають у річку.

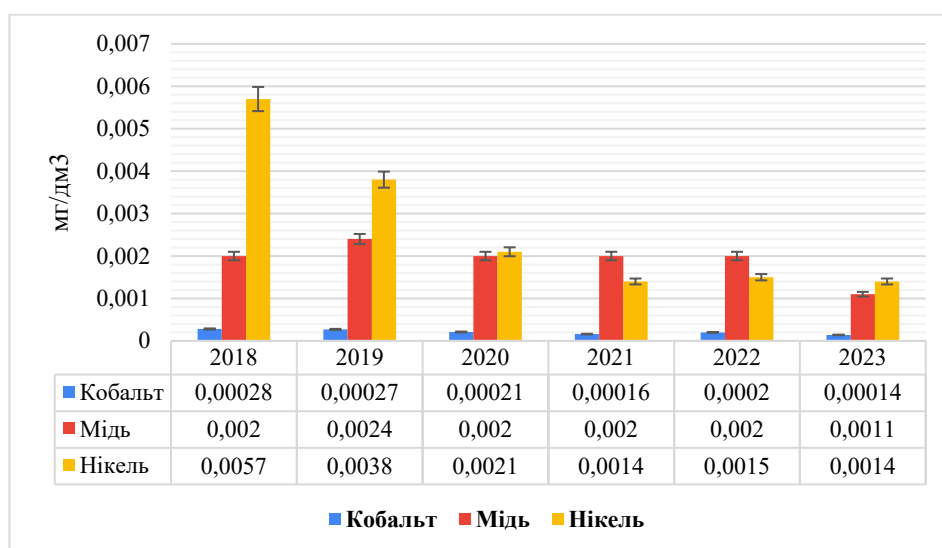


Рис. 3.1. Динаміка вмісту деяких катіонів важких металів

Для мінімізації надходження важких металів у Тетерів необхідно насамперед забезпечити ефективне очищення промислових і комунальних стічних вод. Крім того, важливо налагодити контроль за вмістом забруднюючих речовин у викидах підприємств в атмосферу. Необхідно також поліпшити очистку дощових стоків з міських територій перед їх скидом у річку. Ці та інші природоохоронні заходи дозволять знизити антропогенне навантаження на водні об'єкти регіону.

Потрапляння цинку та хрому до водойми річки Тетерів у межах міста Житомира здебільшого зумовлене скиданням неочищених промислових стічних вод різнотипними підприємствами. Перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) цих речовин у воді призводить до токсикологічного впливу на гідробіонтів (рис. 3.2). Зокрема, надлишковий вміст цинку викликає порушення фізіологічних функцій риби, загибель молоді та зниження чисельності популяцій. Надмірний хром токсично діє на зябра моллюсків та ракоподібних. Крім того, акумуляція цих металів у донних відкладеннях призводить до тривалої контамінації екосистеми та порушення процесів самоочищення водойми.

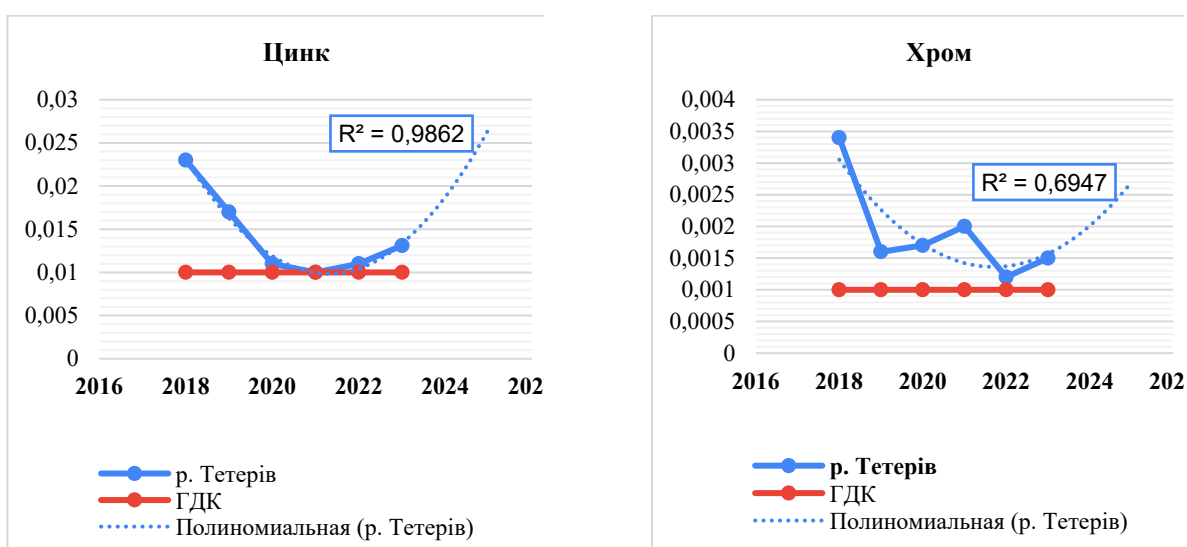


Рис. 3.2. Динаміка та прогноз вмісту ВМ (цинку і хрому), які мали перевищення ГДК

Математичний прогноз вказує на можливе перевищення ГДК для даних катіонів протягом 2024-26 рр (рис. 3.2).

Підвищений вміст заліза у воді річки Тетерів у межах Житомира також пов'язаний із скиданням неочищених стічних вод промисловими підприємствами, зокрема металургійної та машинобудівної галузей, а також гірничою спеціалізацією регіону в цілому (рис. 3.3). Підвищені концентрації заліза пригнічують розвиток фітопланктону, викликають порушення обміну речовин та загибель риби і бентосу [14]. Відкладення гідроксидів $Fe^{2+/3+}$ на дні призводить до задухи бенталі та погіршення умов нересту.

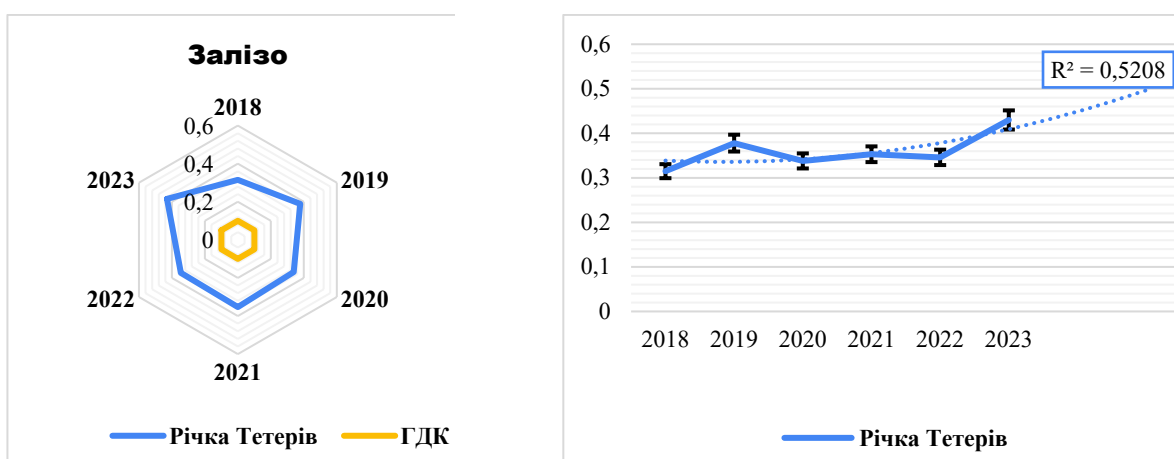


Рис 3. 3. Динаміка та прогноз вмісту залізу

Математичний прогнозує на можливе підвищення вмісту заліза у водному середовищі річки Тетерів (рис. 3.3). Для зниження надходження заліза у річку необхідне вдосконалення технологій очищення промстоків з використанням сучасних реагентних та сорбційних методів.

3.2. Моніторинг та прогнозування вмісту аніонних композицій та розчиненого у воді кисню

Біогенні компоненти, такі як азот амонійний (NH_4^+), хлориди (Cl^-), сульфати (SO_4^{2-}) та нітрати (NO_3^-), інтегральні утворення хімічного складу водних екосистем. Збільшення концентрації амонію може бути наслідком

анаеробного розкладу органічних речовин та погіршення умов аеробної окислення аміаку до нітрату (NO_3^-).

Хлориди, у великих концентраціях, можуть впливати на іонний баланс водних організмів, викликаючи деградацію клітинних структур та зменшення фізіологічної активності. Сульфати можуть призводити до акумуляції в ґрунтах та воді, викликаючи зміни рН та впливаючи на розчинність різних металів.

Високі рівні нітратів сприяють розвитку аеробних бактерій, конкуруючи за доступність кисню з водних організмів.

Варто зазначити, що протягом досліджуваного періоду з 2018-2023 рр. показники даних біогенних елементів не перевищували ГДК у р. Тетерів у межах м. Житомир (рис. 3. 4).

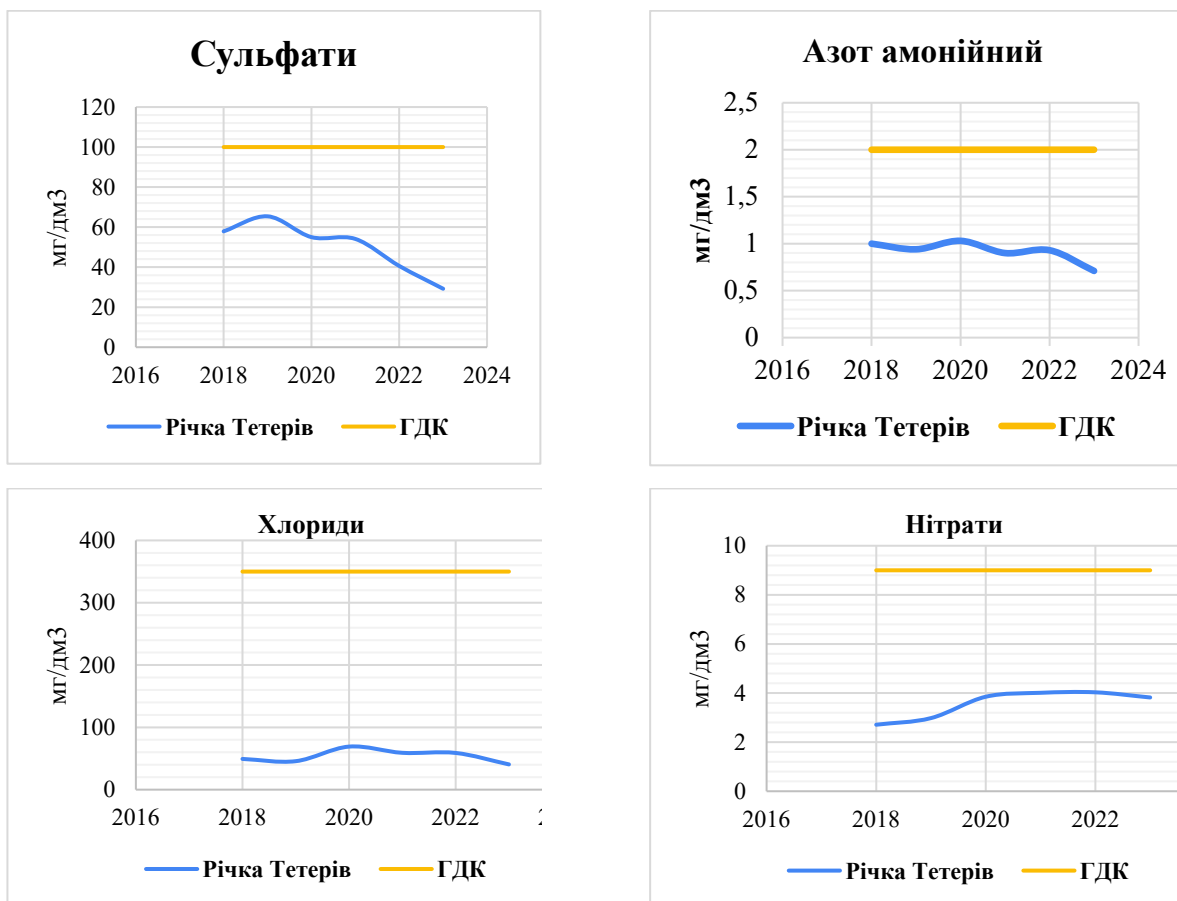


Рис. 3.4. Компоненти аніонної композиції, як не перевищують ГДК

Виявлення підвищених рівнів нітритів вимагає відповідного екологічного моніторингу та прийняття заходів для зменшення антропогенного впливу на водні ресурси. Високий рівень фосфатів і, як наслідок, цвітіння водоростей

може ускладнювати процеси очищення води, що робить виробництво чистої питної води важчим і дорожчим.

Згідно отриманих даних протягом 2018-2023 рр. були виявлені перевищення ГДК за показниками вмісту фосфатів та нітритів у водному середовищі Тетерева (рис. 3.5). Проте згідно із результатами математичного прогнозу (кореляційно-регресійного аналізу за допомогою поліноміальної кривої) обидва показники будуть знижуватись до 2026 р. зі значними коефіцієнтами кореляції (фосфати – 0,9312 (достовірність апроксимації – 0,8673 та для нітритів коефіцієнт кореляції – 0,6300 (достовірність апроксимації – 0,3968).

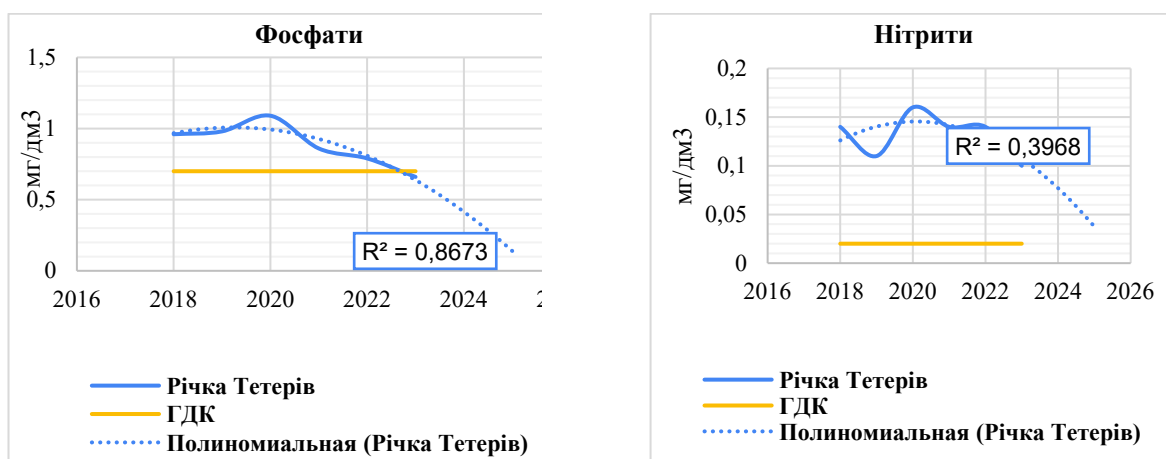


Рис.3.5. Динаміка та прогноз компонентів аніонної композиції, які перевищили ГДК

Розчинений кисень (O_2) - це молекулярний кисень, що міститься у воді у вільному стані. Вміст O_2 залежить від інтенсивності фотосинтезу, температури, турбулентності води. Зниження O_2 сигналізує про нестачу кисню для аеробних організмів. БСК₅ - показник кількості кисню, потрібного для окиснення органічних речовин у воді за 5 діб. Високі показники БСК₅ вказують на забруднення органікою та евтрофікацію. ХСК - кількість кисню, витраченого на окиснення всіх речовин у воді сильним окиснювачем. Відображає вміст забруднювачів, у т. ч. важкорозкладаних (рис. 3.6).

У сумі аналіз цих показників дозволяє комплексно оцінити кисневий режим, органічне навантаження та забрудненість водойми для виявлення ризиків евтрофікації. Їх оптимізація сприятиме поліпшенню екологічного стану р. Тетерів.

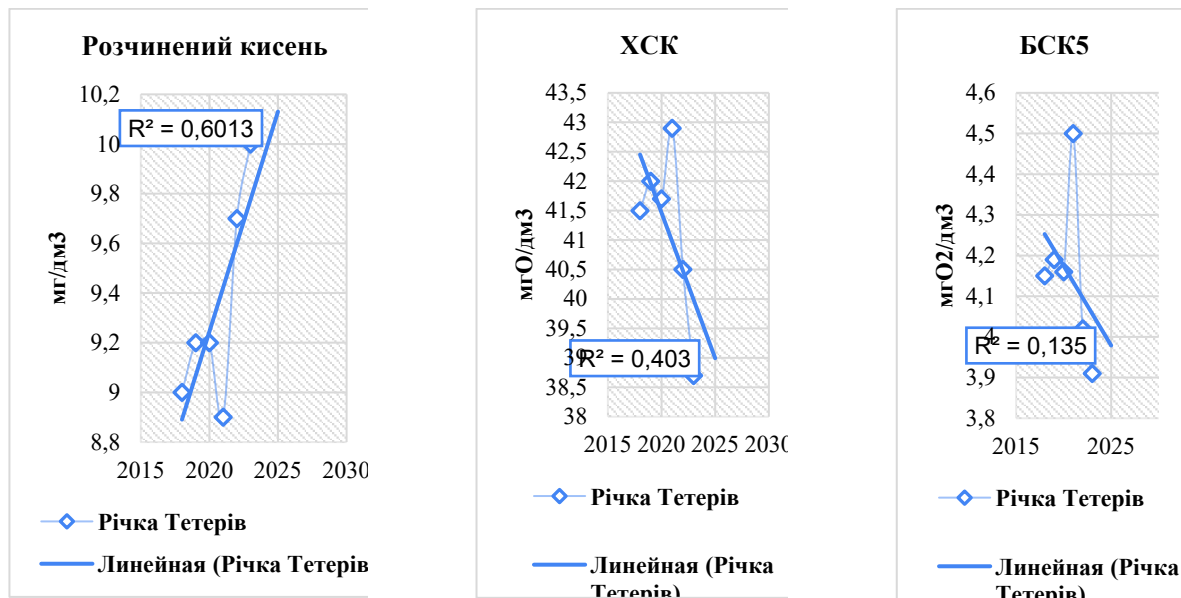


Рис. 3.6. Динаміка та проноз евтрофікаційного потенціалу за інтегральними показниками

Збільшення вмісту розчиненого кисню свідчить про поліпшення оксигенації водойми, що позитивно впливає на умови існування гідробіонтів. Зниження показників біохімічного споживання кисню (БСК₅) вказує на зменшення надходження у воду органічних речовин, які стимулюють розвиток сапрофітних бактерій. Зменшення хімічного споживання кисню (ХСК) свідчить про зниження вмісту забруднювачів різної природи, що також покращує якість води. За умови подальшого позитивного тренду цих показників можна прогнозувати зниження ризиків евтрофікації в екосистемі річки Тетерів

3.3. Розроблення рекомендацій щодо оптимізації екологічного стану р. Тетерів та їх економічне обґрунтування.

Водні ресурси мають надзвичайно важливе екологічне значення, а також відіграють важливу роль в економічному і соціальному розвитку країни.

Здійснений аналіз стану водних ресурсів Житомирської області дозволяє стверджувати, що основними проблемами у цій сфері є інтенсивне використання підземних джерел, а також суттєве забруднення поверхневих водних об'єктів області. Застосування комплексу нормативно-правових, адміністративних, економічних, інженерно-технічних та виховних інструментів стимулюватиме зниження водоспоживання, впровадження маловодних технологій, реконструкцію та будівництво нових очисних споруд, що дозволить суттєво поліпшити стан водних ресурсів Житомирської області.

Економічне обґрунтування розроблених рекомендацій для оптимізації екологічного стану річки Тетерів може бути представлено наступним чином.

1. Зменшення витрат на лікування та охорону здоров'я.

Зменшення рівня забруднення води допомагає у попередженні виникнення захворювань, пов'язаних із забрудненням водних джерел. Це в свою чергу призводить до зниження витрат на лікування, госпіталізацію та фармацевтичні витрати для якнайбільшої частини населення. Зменшення здоров'я пов'язаних проблем також може допомогти збільшити продуктивність праці та відсутність на роботі.

2. Збереження природних ресурсів і зменшення втрат виробництва.

Використання чистих технологій у виробництві може допомогти у зменшенні витрат на енергію та сировину, а також у зменшенні витрат на відновлення середовища після екологічних катастроф. Це збільшує стійкість виробничих процесів та зменшує вплив на екосистему, що в свою чергу може вести до економії коштів.

3. Розвиток екологічно чистих технологій та нових ринків.

Інвестиції в розробку та впровадження новітніх технологій у сфері охорони довкілля можуть створити нові ринки та галузі, що призведе до зростання конкурентоспроможності регіону. Розвиток таких галузей, як відновлювальна енергетика, ефективне використання ресурсів та енергозбереження, сприятиме створенню нових робочих місць і збільшенню прибутковості компаній.

4. Збільшення доходів від туризму та рекреації.

Поліпшення гідрохімічного стану річки Тетерів зробить регіон більш привабливим для туристів. Збільшення туристичного потенціалу призведе до зростання прибутків від туристичних послуг, готелів, ресторанів та інших супутніх галузей, що сприятиме економічному зростанню регіону.

5. Створення нових робочих місць у сфері екології:

Впровадження рекомендацій передбачає розробку та впровадження нових екологічних проектів, що може призвести до створення нових робочих місць у сферах моніторингу, водоочищення, технічної підтримки та інших екологічно орієнтованих галузях.

6. Підвищення ефективності використання ресурсів.

Впровадження чистих технологій та оптимізація виробничих процесів допоможе виробникам зменшити витрати на енергію та сировину. Це сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємств, збільшенню їх прибутковості та стійкості на ринку.

7. Привертання інвестицій та фінансування.

Реалізація екологічних проектів може стати привабливою для інвесторів, які зацікавлені у сталому розвитку та екологічно відповідних підприємствах. Залучення інвестицій може бути важливим джерелом фінансування для проектів, спрямованих на поліпшення екологічної ситуації на річці Тетерів.

Враховуючи ці аспекти, розробка та реалізація рекомендацій може призвести до комплексного поліпшення екологічної ситуації.

ВИСНОВКИ

1. Хімічний склад природних вод р. Тетерів залежить від ландшафтно-кліматичних умов, складу водовмісних порід водоносних горизонтів, визначається зміною генетичних складових водного стоку, його гідрологічних фаз. На підставі результатів досліджень гідрохімічного складу р. Тетерів в межах м. Житомира встановлено, що головна небезпека забруднення поверхневих вод пов'язана з антропогенними речовинами.

2. Встановлено, що основними джерелами надходження катіонів важких металів (Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+}) в гідроекосистему є скиди недостатньо очищених промислових та комунально-побутових стічних вод, а також поверхневий стік з урбанізованих територій. Це призводить до хронічної контамінації водного середовища та порушення фізіологічних функцій гідробіонтів.

3. Виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій за вмістом цинку, хрому, заліза та нітритів, що зумовлює токсикологічний вплив на водні організми та процеси самоочищення водойми. Прогнозується збереження цих негативних тенденцій протягом 2024-2026 років.

4. Показано, що вміст основних біогенних компонентів (азоту амонійного, хлоридів, сульфатів) не перевищував встановлених нормативів. Водночас виявлено тенденцію до зниження концентрації фосфатів та нітритів, що матиме позитивний вплив на екологічний стан водойми.

5. Встановлено позитивну динаміку показників кисневого режиму (збільшення вмісту розчиненого кисню, зниження БСК₅ та ХСК), що свідчить про зменшення органічного навантаження та поліпшення процесів самоочищення водойми. Це дозволяє прогнозувати зниження ризиків евтрофікації гідроекосистеми.

6. Незважаючи на окремі негативні тенденції, загальна динаміка змін хімічного складу води р. Тетерів свідчить про поступове поліпшення екологічного стану водойми в досліджуваному регіоні. Проте необхідно

проводити подальший моніторинг та вживати комплекс заходів для оптимізації гідрохімічного режиму та попередження забруднення річки.

7. Запропоновано використання наступних економічних важелів: встановлення екологічних податків, платежів, штрафів за забруднення навколишнього середовища; надання податкових пільг та прискореної амортизації при впровадженні екологічних технологій; використання державних субсидій та грантів для фінансування природоохоронних заходів.

8. Обґрунтовано, що реалізація запропонованих заходів сприятиме зниженню трансакційних витрат на охорону здоров'я, підвищенню конкурентоспроможності регіону за рахунок розвитку екологічних ринків та технологій, зростанню надходжень від туризму та рекреації, створенню нових "зелених" робочих місць, підвищенню ефективності використання ресурсів та залученню екологічно орієнтованих інвестицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC 2000 Official Journal of the European Communities L327 118.
2. Екологічний паспорт Житомирської області за 2014 р. URL: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/zhytomyrska> (дата звернення: 11.02.2023).
3. Сніжко С.І., Орлов О.О. Гідрохімія та радіогеохімія річок і боліт Житомирської області. Житомир: Волинь, 2002. 262 с.
4. Огляд найбільших річок в Житомирській області. DK News. 2024. URL: <http://www.news.dks.ua/index.php/turizm/20683> (дата звернення: 01.02.2024).
5. Васенко О.Г., Верніченко Г.А. Комплексне планування та управління водними ресурсами. Київ: Інститут географії НАН України, 2001. 367 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. Управління екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації. 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Zhytomyrska-ODA-2021.pdf> (дата звернення: 01.02.2024).
7. Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України. Навчально довідковий посібник. Одеса, Астропринт, 2003. 390 с.
8. Главацька Н. Гідроекологічний стан річок в межах міста Житомира. Міськість: наука, культура, мистецтво. 2015. No 5(2). С. 86-91. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1540/1/Glavatska_Gidroek_stan_M_2015.pdf (дата звернення: 11.02.2023).
9. Kotsiuba I.G., Skyba G.V., Skuratovskaya I.A., Lyko S.M. Ecological monitoring of small water systems: Algorithm, software package, the results of application to the Uzh river basin (Ukraine). Methods and Objects of Chemical

Analysis. 2019. Vol. 14, No 4. P. 200–207.

10. Shweta Tyagi, Bhavtosh Sharma, Prashant Singh et al. Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of Water Resources. 2013. No 3. P. 34–38.

11. Юрасов С. М. Збірник методичних вказівок з дисципліни «Методи оцінки якості природних вод». Одеса, ОДЕКУ, 2005. 87 с.

12. Романенко В. Д., ред. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Київ, ЛОГОС, 2006. 408 с.

13. Ситнікова М.Д. Оцінка сучасного стану якості річкових вод басейну р. Тетерів (у межах Житомирської області). URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/6046/1/153.pdf> (дата звернення: 01.02.2024).

14. Аристархова Е.О. Сезонна динаміка сполук мангану і феруму у поверхневих водах водозабору відсічне р. Тетерів. ScienceRise: Biological Science. 2018. No 5(14). С. 10–14. DOI: 10.15587/2519-8025.2018.146274.

15. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи). К.: НААН України, Інститут водних про-блем і меліорації. 2015. 46 с.

16. ДСТУ ISO 5667-2:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб (ISO 5667-2:1991, IDT). URL: <http://www.leonorm.lviv.ua/Default.php?Page=stlist&ObjId=194&CatId=1>

17. Iryna Kotsiuba, Vitalina Lukianova, Yevheniia Anpilova, Tetiana Yelnikova, Olena Herasymchuk, Oksana Spasichenko. The Features of Eutrophication Processes in the Water of the Uzh River. Ecological Engineering & Environmental Technology 2022, 23(2), 9-15. DOI:10.12912/27197050/145613.

18. Алпатова О.М., Бордюг Н.С., Герасимчук О.Л., Курбет Т.В. Аналіз шляхів удосконалення інтегрованого підходу управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. Вип. 3. С. 41-48.

19. Alpatova O., Garlinska A., Borydyug N. Seasonal Changes in the Density and Species Diversity of Testate Amoebae in the Teteriv River (the Town of Zhytomyr). Hydrobiological Journal. 2019. Vol 55, Issue 1. PP. 36–43.

20. Шелюк Ю., Шевчук Л., Мошківська М. Оцінка якості вод урбанізованих територій за структурою угруповань гідробіонтів. Український журнал природничих наук. 2023. № 3. С. 76-90.