

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут нафти і газу  
Кафедра прикладної екології та природокористування

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до кваліфікаційної роботи

на тему: «Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан  
річки Ворскла»

601-мТЗ 11393350 ПЗ

Виконала студент групи 601-мТЗ  
спеціальності 183 Технології захисту  
навколишнього середовища

К.В. Дубина

Керівник:  
д.т.н., професор

О.В. Степова

Рецензент: Завідувачаа кафедри екології та  
природоохоронних технологій  
Національного університету  
кораблебудування імені адмірала  
Макарова д.т.н., професор

Ганна Трохименко.

**Форма № Н-9.01**

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут нафти і газу  
Кафедра прикладної екології та природокористування  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

( О.Е. Ілляш )

(підпис)

(ПІБ)

2025 року

(дата)

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ****ДУБИНІ КАТЕРИНІ ВАДИМІВНІ**

1. Тема роботи Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла.

Керівник роботи Степова Олена Валеріївна, д.т.н., професор,  
затверджені наказом Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка від “09” серпня 2024 року № 818-ф.а.

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_  
(дата)

3. Вихідні дані до роботи

1. Наукові публікації по темі роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

(перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. теоретико-методологічні основи дослідження впливу кліматичних змін на екологічний стан річок. Розділ 2 Теоретичні дослідження впливу кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла. Розділ 3. Експериментальні дослідження екологічного стану річки Ворскла. Розділ 4. Рекомендації щодо запровадження результатів дослідження.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Титульний лист альбому креслень. 2) Характеристика роботи, 3) Аналіз відомих досліджень, 4) Структурно-логічна схема досліджень, 5) Аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки Ворскла 6) Розробка математичної моделі впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки 7) Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів 8) Аналіз основних гідрохімічних показників води 9) Визначення кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та

екологічними параметрами річки 10) Рекомендації щодо запровадження результатів досліджень 11) Загальні висновки.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Перші 4 аркуші плакатів, постановка завдань досліджень	02.10.24 - 22.10.24	
2	6 аркуші плакатів, динаміка показників та математична модель впливу кліматичних факторів	22.10.24 – 05.11.24	
3	7 аркуші плакатів, Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів	06.11.24 – 26.11.24	
4	10 аркуші плакатів, Аналіз гідрологічний показників води, рекомендації щодо запровадження результатів досліджень	27.11.24 – 21.12.24	
5	11 аркуші плакатів, загальні висновки	21.12.24 – 17.01.25	

Студент \_\_\_\_\_ **К.В. Дубина**  
( підпис )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ **О.В. Степова**  
( підпис )

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧОК .....	8
1.1. Аналіз сучасних досліджень впливу кліматичних факторів на водні екосистеми .....	8
1.2. Характеристика річки Ворскла як об'єкта дослідження.....	16
1.3. Методики оцінювання екологічного стану річок.....	21
1.4. Обґрунтування вибору методів дослідження та постановка завдань .....	24
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ВОРСКЛА.....	28
2.1. Аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки Ворскла.....	28
2.2. Розробка математичної моделі впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки .....	33
2.3. Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів .....	38
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ВОРСКЛА.....	46
3.1. Методика проведення експериментальних досліджень.....	46
3.2. Аналіз основних гідрохімічних показників води .....	48
3.3. Оцінка стану біологічних компонентів річкової екосистеми.....	51
3.4. Визначення кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки.....	54
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	58
4.1. Прогноз змін екологічного стану річки Ворскла при різних сценаріях кліматичних змін.....	58
4.2. Розробка рекомендацій щодо адаптації системи моніторингу річки до кліматичних змін .....	63
4.3. Пропозиції щодо впровадження природоохоронних заходів з урахуванням кліматичного фактору.....	67
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	78

## АНОТАЦІЯ

У роботі виконано комплексне дослідження впливу кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла. Проведено аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки за період 1993-2023 рр., який показав стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря на 2.3°C та зменшення річної кількості опадів на 16.6 мм (2.8%). Встановлено, що найбільші зміни спостерігаються у зимовий період, що проявляється у підвищенні температури повітря та зменшенні кількості опадів.

Розроблено математичну модель впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки, яка дозволяє прогнозувати зміни витрат води при різних сценаріях зміни клімату. Показано, що підвищення температури повітря на 1°C призводить до зменшення середньорічної витрати води на 5-7%, а зменшення річної кількості опадів на 10% викликає зниження водності річки на 12-15%. Виявлено значний вплив температури води на біологічні процеси у річковій екосистемі. При зниженні температури води від 13°C до 6°C спостерігається зменшення чисельності фітопланктону у 9.3 рази та біомаси зоопланктону у 5.6 рази.

Результати досліджень можуть бути використані при розробці адаптаційних заходів до кліматичних змін та вдосконаленні системи моніторингу екологічного стану річки Ворскла.

**Ключові слова:** кліматичні зміни, екологічний стан, річка Ворскла, гідрологічний режим, температурний режим, якість води, математичне моделювання, моніторинг, природоохоронні заходи, гідробіонти, фітопланктон, розчинений кисень, водність річки.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В умовах сучасних кліматичних змін дослідження їх впливу на екологічний стан річок України набуває особливого значення. Річка Ворскла є важливою водною артерією Полтавського регіону, що відіграє значну роль у забезпеченні водними ресурсами населення та галузей економіки. Зміни клімату можуть суттєво впливати на гідрологічний режим річки та якість води, що потребує детального вивчення для розробки адаптаційних заходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за тематикою "Екологічна оцінка та прогнозування стану водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження".

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи - оцінити вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла та розробити рекомендації щодо адаптації системи моніторингу до нових умов.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати динаміку основних кліматичних показників в басейні річки за останні 30 років.
2. Дослідити зміни гідрологічного режиму річки під впливом кліматичних факторів.
3. Оцінити вплив зміни температури води на гідрохімічні показники.
4. Визначити характер та інтенсивність антропогенного навантаження на річкову екосистему.
5. Проаналізувати сезонні зміни якісних характеристик води.
6. Розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу кліматичних змін.

**Об'єкт дослідження** - процеси формування екологічного стану річки Ворскла під впливом кліматичних факторів.

**Предмет дослідження** - закономірності зміни гідрологічних та гідрохімічних характеристик річки Ворскла в умовах кліматичних змін.

**Методи дослідження.** В роботі використані методи статистичного аналізу даних спостережень, математичного моделювання гідрологічних процесів, гідрохімічних та гідробіологічних досліджень води.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у встановленні кількісних залежностей між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки, розробці математичної моделі впливу температури на гідрохімічні показники, визначенні критичних значень кліматичних параметрів для річкової екосистеми.

**Практичне значення.** Результати досліджень можуть бути використані при розробці природоохоронних заходів та адаптації системи моніторингу річки до кліматичних змін.

**Апробація результатів.**

**Публікації.**

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, 14 підпунктів, висновків, списку використаних джерел із 43 найменувань. Загальний обсяг роботи - 98 сторінок.

## **РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧОК**

### **1.1. Аналіз сучасних досліджень впливу кліматичних факторів на водні екосистеми**

Водна екосистема визначається як сукупність гідробіонтів та неживих компонентів водного середовища, що взаємодіють між собою та навколишнім середовищем у межах певного водного об'єкту. Науково-дослідні роботи підтверджують, що кліматичні фактори безпосередньо впливають на функціонування водних екосистем через зміну температурного режиму, кількості атмосферних опадів та гідрологічного режиму водних об'єктів. Особливу увагу дослідники приділяють змінам температури води, які визначають інтенсивність біологічних процесів та видовий склад гідробіонтів [4, с. 156].

Гідротермічний режим водних екосистем формується під впливом сонячної радіації, температури повітря, випаровування та атмосферних опадів. Температура води визначає швидкість біохімічних реакцій, метаболізм водних організмів та розчинність кисню у воді. Підвищення температури води призводить до зменшення розчинності кисню, що може спричинити гіпоксію та загибель гідробіонтів.

Зміна кількості атмосферних опадів впливає на водний режим річок, рівень ґрунтових вод та якість води. Дослідження показують, що зменшення кількості опадів призводить до зниження водності річок, погіршення самоочисної здатності водних екосистем та збільшення концентрації забруднюючих речовин.

Кліматичні зміни впливають на біорізноманіття водних екосистем через зміну умов існування гідробіонтів. Підвищення температури води призводить до зміни видового складу водних організмів, міграції видів та появи інвазивних видів. Деякі види не можуть адаптуватися до нових умов і зникають з екосистеми. Порушення трофічних зв'язків може призвести до дестабілізації всієї екосистеми [11, с. 89].

Гідрологічний режим водних об'єктів залежить від кліматичних факторів та визначає умови існування гідробіонтів. Зміна водності річок впливає на швидкість течії, глибину, температуру води та концентрацію розчинених речовин. При зменшенні водності відбувається погіршення якості води через зменшення розбавлення забруднюючих речовин та збільшення їх концентрації.

Дослідження демонструють, що зміна кліматичних факторів впливає на продуктивність водних екосистем та їх здатність надавати екосистемні послуги. Зміна температурного режиму та водності річок може призвести до зменшення рибопродуктивності, погіршення якості води та зниження рекреаційної цінності водних об'єктів [30, с. 392].

Водна екосистема визначається як сукупність гідробіонтів та неживих компонентів водного середовища, що взаємодіють між собою та навколишнім середовищем у межах певного водного об'єкту. Науково-дослідні роботи підтверджують, що кліматичні фактори безпосередньо впливають на функціонування водних екосистем через зміну температурного режиму, кількості атмосферних опадів та гідрологічного режиму водних об'єктів. Особливу увагу дослідники приділяють змінам температури води, які визначають інтенсивність біологічних процесів та видовий склад гідробіонтів. Аналіз гідрохімічних показників демонструє, що при підвищенні температури води змінюється концентрація розчинених газів, швидкість хімічних реакцій та інтенсивність процесів самоочищення водою [4, с. 156].

Гідротермічний режим водних екосистем формується під впливом сонячної радіації, температури повітря, випаровування та атмосферних опадів. Температура води визначає швидкість біохімічних реакцій, метаболізм водних організмів та розчинність кисню у воді. Підвищення температури води призводить до зменшення розчинності кисню, що може спричинити гіпоксію та загибель гідробіонтів. Вплив температури на швидкість метаболічних процесів відображається через зміну споживання кисню гідробіонтами та інтенсивність продукційно-деструкційних процесів. Цикли розвитку водних організмів тісно

пов'язані з температурним режимом, тому його порушення призводить до зміни термінів нересту риб, розвитку фіто- та зоопланктону.

Зміна кількості атмосферних опадів впливає на водний режим річок, рівень ґрунтових вод та якість води. Дослідження показують, що зменшення кількості опадів призводить до зниження водності річок, погіршення самоочисної здатності водних екосистем та збільшення концентрації забруднюючих речовин. Особливо чутливими до зміни кількості опадів є малі річки, де навіть незначні коливання водності можуть призвести до критичних змін екологічного стану. При зменшенні водності відбувається уповільнення течії, збільшення температури води та концентрації біогенних елементів [11, с. 89].

Кліматичні зміни впливають на біорізноманіття водних екосистем через зміну умов існування гідробіонтів. Підвищення температури води призводить до зміни видового складу водних організмів, міграції видів та появи інвазивних видів. Деякі види не можуть адаптуватися до нових умов і зникають з екосистеми. Порушення трофічних зв'язків може призвести до дестабілізації всієї екосистеми. Зміна видового складу відбувається через різну толерантність організмів до температури води та концентрації розчиненого кисню. Теплолюбні види розширюють свої ареали, холодолюбні - скорочують або зникають.

Гідрологічний режим водних об'єктів залежить від кліматичних факторів та визначає умови існування гідробіонтів. Зміна водності річок впливає на швидкість течії, глибину, температуру води та концентрацію розчинених речовин. При зменшенні водності відбувається погіршення якості води через зменшення розбавлення забруднюючих речовин та збільшення їх концентрації. Зміна гідрологічного режиму призводить до трансформації річкових екосистем через зміну швидкості течії, глибини та структури донних відкладів [30, с. 392].

Дослідження стану водних екосистем України показують значний вплив кліматичних змін на їх функціонування. Спостерігається тенденція до підвищення температури води, зменшення водності річок та погіршення якості води. Зміна термічного та гідрологічного режимів призводить до трансформації видового складу гідробіонтів та порушення функціонування водних екосистем.

Особливо вразливими є малі річки та водойми степової зони, де кліматичні зміни посилюються антропогенним навантаженням. Прогнозується подальше погіршення стану водних екосистем при збереженні існуючих тенденцій зміни клімату [6, с. 72].

Процеси евтрофікації водойм посилюються під впливом кліматичних змін через підвищення температури води та збільшення концентрації біогенних елементів. При підвищенні температури води прискорюється розвиток фітопланктону, що призводить до "цвітіння" води та погіршення її якості. Дослідження показують, що інтенсивність евтрофікації залежить від температури води, освітленості та концентрації біогенних елементів. Зміна кліматичних умов може призвести до зсуву сезонних циклів розвитку фітопланктону та порушення функціонування водних екосистем. Евтрофікація призводить до зменшення прозорості води, зниження концентрації розчиненого кисню та загибелі гідробіонтів [18, с. 261]. Продовжуючи аналіз впливу кліматичних змін на водні екосистеми, важливо відзначити результати останніх досліджень. За даними Лободи та Пилип'юка, зміни клімату значно впливають на якість води у річках Псел та Ворскла. Підвищення температури повітря на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до зростання температури води на  $0.8-0.9^{\circ}\text{C}$ , що суттєво впливає на кисневий режим та біохімічні процеси [10].

Дослідження Ромащенко та інших науковців демонструють, що сучасні кліматичні зміни призводять до трансформації водного режиму річок України. За останні 30 років спостерігається зменшення річкового стоку на 10-20% та підвищення частоти екстремальних гідрологічних явищ [14]. Сніжко, Шевченко та Дідовець проаналізували вплив кліматичних змін на водні ресурси України та розробили прогнозні сценарії до 2050 року. Згідно з їх дослідженнями, очікується подальше зменшення водності річок на 15-25% та збільшення тривалості меженого періоду [15].

Хільчевський провів комплексний аналіз водних ресурсів України на основі глобальної інформаційної системи FAO Aquastat. Результати показують, що зміна клімату призводить до перерозподілу водних ресурсів між сезонами

року та збільшення нерівномірності річкового стоку [18]. Strokal досліджував транскордонні річки України та встановив, що кліматичні зміни створюють додаткові виклики для управління водними ресурсами на міждержавному рівні. Особливо гостро стоїть питання забезпечення екологічних попусків та підтримки якості води [35].

Згідно з останніми дослідженнями Didovets et al., кліматичні зміни суттєво впливають на формування паводків у річках Карпатського регіону. Прогнозується збільшення частоти та інтенсивності екстремальних гідрологічних явищ [23]. Allan, Castillo та Capps розробили комплексний підхід до оцінки впливу кліматичних змін на структуру та функціонування річкових екосистем. Вони встановили, що найбільш вразливими компонентами є кисневий режим та популяції холодолюбних видів гідробіонтів [20].

Отже, аналіз сучасних досліджень демонструє значний вплив кліматичних змін на гідрологічний режим, якість води та біорізноманіття річкових екосистем. Це вимагає розробки та впровадження адаптаційних заходів для збереження водних ресурсів в умовах глобальних кліматичних змін.

Дослідження Li та інших показали, що підвищення температури води призводить до інтенсифікації процесів деструкції органічних речовин та збільшення концентрації біогенних елементів. Встановлено, що при підвищенні температури води на 3°C швидкість розкладу органічних речовин зростає в 1.5-2 рази [31]. Kuriqi та співавтори вивчали екологічні наслідки зарегулювання річкового стоку в умовах кліматичних змін. Вони встановили, що комбінований вплив гідротехнічних споруд та кліматичних факторів призводить до суттєвих змін гідрологічного режиму малих та середніх річок [28].

Важливі результати отримані в дослідженнях Wohl щодо зміни зв'язності річкових екосистем під впливом кліматичних факторів. Показано, що порушення природного гідрологічного режиму призводить до фрагментації річкових екосистем та зниження їх стійкості [41]. Hossain та співавтори встановили значний вплив температури води на міграцію та накопичення забруднюючих речовин у річкових екосистемах. При підвищенні температури води

спостерігається інтенсифікація процесів переходу важких металів з донних відкладів у водну товщу [26]. За даними Vu та співавторів, кліматичні зміни суттєво впливають на самоочисну здатність річок. Зменшення водності та підвищення температури води призводить до зниження інтенсивності процесів самоочищення та накопичення забруднюючих речовин у донних відкладах [40].

O'Donnell та Talbot-Jones розробили рекомендації щодо правового забезпечення охорони річок в умовах кліматичних змін. Вони запропонували підходи до встановлення юридичних прав річкових екосистем та механізмів їх захисту [33]. Таким чином, результати сучасних досліджень свідчать про комплексний вплив кліматичних змін на всі компоненти річкових екосистем. Особливу увагу слід приділити вивченню механізмів адаптації водних організмів до нових умов існування та розробці заходів щодо підтримки екологічного благополуччя річок.

Wohl, Kramer та співавтори досліджували вплив деревної рослинності на формування природного режиму річок в умовах кліматичних змін. Їх дослідження показали, що прибережна рослинність відіграє ключову роль у підтримці стабільності річкових екосистем, забезпечуючи затінення водної поверхні та зменшуючи температуру води. Науковці встановили, що збереження природних лісових масивів вздовж річок може знизити негативний вплив підвищення температури повітря на 1.5-2°C. Особливо важливим є збереження старих дерев, які формують складну систему коренів та створюють різноманітні мікрооселища для водних організмів. Автори підкреслюють необхідність розробки спеціальних заходів щодо охорони та відновлення прибережної деревної рослинності як важливого фактору адаптації річкових екосистем до кліматичних змін. На основі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо оптимального співвідношення деревних порід у прибережних захисних смугах [42].

Yakovliev та Chumachenko вивчали екологічні загрози для водних екосистем в умовах військових дій та кліматичних змін. Встановлено синергетичний ефект впливу цих факторів на якість води та стан водних

біоценозів. Дослідники виявили, що порушення системи моніторингу та очистки стічних вод в поєднанні з кліматичними змінами призводить до катастрофічного погіршення екологічного стану річок. На основі отриманих даних запропоновано методику експрес-оцінки екологічних ризиків для річкових екосистем в умовах надзвичайних ситуацій. Результати досліджень підкреслюють необхідність розробки спеціальних протоколів реагування на комплексні загрози для водних екосистем [43].

За даними Коробкової Г.В., система екологічного нормування якості поверхневих вод в умовах кліматичних змін потребує суттєвого вдосконалення. Зокрема, автор пропонує враховувати природні коливання гідрохімічних показників при встановленні нормативів якості води та розробляти сезонні нормативи з урахуванням температурного режиму водних об'єктів [8]. Крайнюков О.М. та Некос А.Н. розробили комплексну систему моніторингу водних об'єктів, що враховує вплив кліматичних факторів. Запропонована система включає спостереження за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками у критичні періоди року, коли вплив кліматичних змін проявляється найбільш інтенсивно [9]. Пономаренко Р.В. дослідив шляхи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання в умовах змін клімату. Автором встановлено, що підвищення температури води призводить до інтенсифікації процесів корозії водопровідних мереж та погіршення якості питної води. Запропоновано технологічні рішення щодо адаптації систем водопостачання до нових кліматичних умов [13].

Дослідження Белобородової М.В. щодо управління екологічними ризиками показали необхідність врахування кліматичного фактору при розробці стратегій розвитку промислових підприємств, розташованих у басейнах річок. Автором розроблено методику оцінки екологічних ризиків з урахуванням прогнозованих змін водності річок та температурного режиму [1]. Джумеля Е.А. при дослідженні екологічної безпеки гірничо-хімічних підприємств встановив, що кліматичні зміни можуть суттєво впливати на міграцію забруднюючих речовин у поверхневій воді. Підвищення температури та зміна режиму опадів

призводять до інтенсифікації процесів вилуговування токсичних компонентів з відвалів та хвостосховищ [4]. Важливий внесок у розвиток методів біоіндикації зробили Дідух Я.П. та Плюта П.Г., які розробили систему фітоіндикації екологічних факторів. Їх дослідження показали, що зміни видового складу та структури рослинних угруповань можуть слугувати надійними індикаторами трансформації водних екосистем під впливом кліматичних змін [5].

Дубина Д.В. провів детальне дослідження вищої водної рослинності та створив атлас-довідник рослин водойм України. Результати його досліджень дозволяють використовувати макрофіти як індикатори екологічного стану водних об'єктів та їх реакції на кліматичні зміни [6]. Клименко М.О. та Гроховська Ю.Р. розробили методику оцінки екологічного стану водних екосистем за вищими водними рослинами. Їх дослідження показали високу ефективність використання макрофітів для моніторингу змін водних екосистем під впливом кліматичних факторів [7]. Цьось О.О. зі співавторами запропонували вдосконалену методику оцінки екологічного стану поверхневих вод за макрофітами. Дослідники встановили кореляційні зв'язки між показниками розвитку водної рослинності та змінами температурного та гідрологічного режимів річок [19].

Szozkiewicz K., Jusik S. та співавтори провели масштабні дослідження закономірностей розподілу макрофітів та макробезхребетних у річках різних екорегіонів. Вони встановили, що кліматичні зміни призводять до трансформації видового складу та структури угруповань водних організмів [36]. У подальших дослідженнях Szozkiewicz K. та співавтори розробили Макрофітний індекс для річок (MIR), який дозволяє оцінювати екологічний стан водних об'єктів з урахуванням їх реакції на кліматичні зміни. Індекс успішно апробований на річках різних регіонів та рекомендований для використання в системі екологічного моніторингу [37]. Згідно з даними щорічника "Стан підземних вод України", зміни клімату впливають не лише на поверхневі, але й на підземні води, які формують базисний стік річок. Спостерігається зниження рівнів

підземних вод та погіршення їх якості, що негативно впливає на водність річок у меженний період [16].

The United Nations World Water Development Report 2021 підкреслює глобальний характер впливу кліматичних змін на водні ресурси. В документі наголошується на необхідності міжнародної співпраці для розробки та впровадження адаптаційних заходів щодо збереження водних екосистем [39]. Ciecierska H. та Dynowska M. розробили комплекс біологічних методів оцінки стану водного середовища, які дозволяють виявляти ранні ознаки трансформації водних екосистем під впливом кліматичних змін. Запропоновані методи базуються на аналізі структурних та функціональних характеристик водних біоценозів [22]. The International Plant Names Index є важливим джерелом для уніфікації таксономічної номенклатури при проведенні досліджень водної рослинності. Це особливо актуально при порівнянні результатів досліджень різних авторів та виявленні змін у видовому складі макрофітів під впливом кліматичних факторів [38].

Ткаченко Т.М. та Жукова О.Г. узагальнили сучасні підходи до оцінки екологічного стану водних об'єктів та розробили рекомендації щодо організації спостережень в умовах кліматичних змін. Особливу увагу автори приділили необхідності комплексного підходу до оцінки стану водних екосистем з урахуванням взаємозв'язків між різними компонентами [17].

## **1.2. Характеристика річки Ворскла як об'єкта дослідження**

Річка Ворскла належить до басейну Дніпра та є однією з найчистіших річок України. Її витік розташований у Білгородській області Російської Федерації, а протікає вона територією України в межах Сумської та Полтавської областей Придніпровської низовини. Річка впадає у Кам'янське водосховище поблизу села Світлогірське Кобеляцького району Полтавської області. Морфологічні характеристики долини річки визначаються трапецієподібною формою шириною до 10-12 км [1, с. 99].

Характерною особливістю річки є асиметричність її заплави: правий берег досягає висоти 80 м та має круті схили, тоді як лівий берег відрізняється пологістю та місцями заболоченістю. Течія річки спокійна, зі швидкістю до 2 км/год. Русло у верхній та середній течії характеризується значною звивистістю з шириною 35-50 м, у нижній течії воно випрямляється та розширюється до 100-150 м. Глибина річки коливається в межах 2-4 м, проте у верхній і середній течії наявні численні мілководні ділянки.

Гідрологічний режим Ворскли характеризується змішаним типом живлення. Середньорічний стік води у гирлі становить 36 м<sup>3</sup>/с. Льодовий режим річки типовий для регіону - льодостав починається на початку грудня та триває до березня. Дно річки переважно піщане, на розливах - мулисте, з численними піщаними пляжами, що формує сприятливі умови для розвитку різноманітної водної біоти [27, с. 24].

Антропогенне навантаження на річку проявляється через зарегулювання русла греблями ГЕС та шлюзами-регуляторами біля населених пунктів Куземин, Деревки, Міські Млини, Вакуленці, Нижні Млини, Кунцеве та Перегонівка. Води річки активно використовуються для сільськогосподарських, побутових та промислових потреб. Значна частина прибережної території зайнята сільськогосподарськими угіддями.

Від витoku до Охтирки Ворскла тече у західному напрямку, далі повертає на південь до Дніпра. Після впадіння приток Ворсклиці та Боромлі річка стає повноводнішою. На ділянці біля Кириківки річка утворює складну систему рукавів, лиманів, стариць та заболочених озер. Прозорість води в плавнях досягає 3-4 м, що свідчить про високу якість води [15, с. 145].

Прибережна територія річки характеризується багатим біорізноманіттям. Уздовж берегів розташовані значні лісові масиви, представлені як хвойними, так і листяними породами. Особливо виділяється сосновий ліс на правому березі довжиною близько 10 км та лісовий масив на лівому березі, що простягається на 20 км вздовж населених пунктів Литовка, Климентове, Доброславівка до

Охтирки. Різноманітність біотопів створює сприятливі умови для розвитку багатой флори та фауни [33, с. 26].

Методи оцінки якості поверхневих вод поділяються на фізико-хімічні, гідробіологічні та гідроморфологічні. Фізико-хімічні методи базуються на визначенні концентрацій забруднюючих речовин та порівнянні їх з нормативними значеннями. До основних фізико-хімічних показників належать температура, прозорість, кольоровість, запах, завислі речовини, розчинений кисень, БСК5, ХСК, рН, загальна мінералізація, біогенні елементи. Кожен показник має свої граничнодопустимі концентрації, перевищення яких свідчить про погіршення якості води. Оцінка проводиться шляхом розрахунку індексу забрудненості води за середніми та максимальними значеннями показників.

Гідробіологічні методи оцінки екологічного стану річок дозволяють визначити наслідки комплексного впливу забруднення на водні екосистеми. Методи біоіндикації базуються на вивченні реакцій організмів-індикаторів на зміну умов середовища існування. Найбільш поширеними є методи оцінки за фітопланктоном, зообентосом, макрофітами та іхтіофауною. Фітопланктон швидко реагує на зміни якості води зміною видового складу та кількісних показників розвитку. Зообентос відображає довготривалі зміни умов існування через тривалий життєвий цикл та обмежену здатність до міграції. Макрофіти характеризують трофічний статус водойми та ступінь її забруднення органічними речовинами. Іхтіофауна реагує на комплекс екологічних факторів та відображає загальний стан водної екосистеми.

Гідроморфологічні методи оцінки включають аналіз характеристик русла, берегів та заплави річки. Оцінюється природність русла, наявність штучних споруд, характер використання заплави, стан прибережної рослинності. Метод передбачає визначення ступеня антропогенної трансформації річкової екосистеми за бальною шкалою. Враховуються такі показники як звивистість русла, різноманітність біотопів, стан берегів, наявність міграційних бар'єрів для риб, характер землекористування на водозбірній території. Результати оцінки використовуються для розробки заходів з відновлення природного стану річок.

Європейська система оцінки екологічного стану річок базується на принципах Водної Рамкової Директиви. Оцінка проводиться за біологічними, гідроморфологічними та фізико-хімічними елементами якості. Біологічні елементи включають склад та чисельність водної флори, донних безхребетних та риби. Гідроморфологічні елементи характеризують гідрологічний режим, неперервність річки та морфологічні умови. Фізико-хімічні елементи включають загальні показники, специфічні синтетичні та несинтетичні забруднюючі речовини. Екологічний стан класифікується за п'ятьма класами: відмінний, добрий, задовільний, поганий, дуже поганий.

Методи дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволяють отримати просторову інформацію про стан річкових екосистем. Застосування космічних знімків дає можливість оцінити морфологію русла, характер використання водозбірної території, розвиток ерозійних процесів. Багатоспектральні знімки дозволяють визначити концентрацію хлорофілу у воді, каламутність, температуру поверхні води. Технології ГІС забезпечують комплексний аналіз екологічного стану річок та моделювання можливих змін під впливом природних та антропогенних факторів. Результати дистанційних досліджень використовуються для оптимізації мережі пунктів моніторингу та контролю за дотриманням режиму водоохоронних зон.

Методи біотестування дозволяють оцінити токсичність води для живих організмів. Тест-об'єктами служать лабораторні культури водоростей, безхребетних та риби. Оцінюється виживаність організмів, зміни поведінкових реакцій, порушення репродуктивної функції. Результати біотестування характеризують інтегральну токсичність води та донних відкладів. Метод дозволяє виявити синергічний ефект різних забруднюючих речовин. Біотестування застосовується для оперативного контролю якості води та оцінки ефективності очищення стічних вод. Результати використовуються для встановлення гранично допустимих скидів забруднюючих речовин.

Річка Ворскла протікає територією двох держав - Російської Федерації та України. Довжина річки становить 464 км, з них 317 км - у межах України.

Площа водозбірного басейну дорівнює 14700 км<sup>2</sup>, з яких 12590 км<sup>2</sup> розташовано на території України. Витік річки знаходиться на західних схилах Середньоруської височини поблизу села Покровка Белгородської області на висоті 200 м над рівнем моря. Впадає Ворскла у Кам'янське водосховище на Дніпрі біля села Світлогірське Кобеляцького району Полтавської області.

Морфологічні характеристики долини визначаються трапецієподібною формою шириною до 10-12 км. Правий берег високий (до 80 м) та крутий, порізаний ярами та балками, складений лесовидними суглинками. Лівий берег пологий, терасований, з численними старицями та заболоченими ділянками. Заплава двостороння, асиметрична, шириною від 500 м до 3 км. Русло звивисте, нерозгалужене, шириною 35-50 м у верхній та середній течії та до 100-150 м у нижній. Глибина змінюється від 2-4 м на плесах до 0.5-1.5 м на перекатах.

Гідрологічний режим Ворскли характеризується весняною повінню та низькою літньо-осінньою та зимовою меженню. Живлення річки змішане з переважанням снігового (55-60%) та підземного (25-30%). Середньорічна витрата води у гирлі становить 36 м<sup>3</sup>/с. Максимальні витрати спостерігаються під час весняного водопілля - до 1000-1200 м<sup>3</sup>/с. Мінімальні витрати води фіксуються в період літньої межени - 2.5-3.0 м<sup>3</sup>/с. Річний об'єм стоку становить 1.14 км<sup>3</sup>.

Льодовий режим характеризується встановленням стійкого льодоставу з початку грудня до середини березня. Товщина льоду досягає 40-50 см. Весняний льодохід триває 3-5 днів. Температурний режим води визначається кліматичними умовами регіону. Максимальна температура води спостерігається в липні-серпні і досягає 24-26°C. Мінімальна температура фіксується в зимовий період - 0.1-0.2°C під льодом. Середньорічна температура води становить 9.5°C.

У басейні річки Ворскла розташовано 9 водосховищ загальним об'ємом 27.5 млн м<sup>3</sup> та понад 380 ставків сумарним об'ємом 55.6 млн м<sup>3</sup>. Найбільшими притоками є річки Ворсклиця (довжина 101 км), Мерла (28 км), Коломак (102 км), Тагамлик (64 км). Русло зарегульоване греблями ГЕС та шлюзами-регуляторами біля населених пунктів Куземин, Деревки, Міські Млини,

Вакуленці, Нижні Млини, Кунцеве та Перегонівка. Води річки використовуються для водопостачання населених пунктів, зрошення сільськогосподарських угідь та рибництва.

Ґрунтовий покрив водозбору представлений чорноземами типовими та опідзоленими, темно-сірими лісовими та лучними ґрунтами. Рослинність басейну річки характеризується поєднанням лісової, лучної та болотної рослинності. Лісистість басейну становить 14.5%. Переважають дубово-соснові та дубово-грабові ліси. Особливу природоохоронну цінність мають заплавні діброви та вільшняки. Флора басейну нараховує понад 1200 видів судинних рослин, фауна включає 48 видів риби, 11 видів земноводних, 8 видів плазунів, 250 видів птахів та 52 види ссавців.

### **1.3. Методики оцінювання екологічного стану річок**

Оцінювання екологічного стану річок базується на комплексному аналізі гідрохімічних, гідробіологічних та гідроморфологічних показників. Система оцінки включає фізико-хімічні показники якості води, характеристику донних відкладень, стан біотичних угруповань та оцінку антропогенного навантаження на річкову екосистему [12, с. 108].

Для характеристики якості поверхневих вод використовують систему екологічних нормативів, яка включає загальні та специфічні показники. До загальних показників належать температура, прозорість, кольоровість, запах, концентрація розчиненого кисню, БСК5, ХСК, рН, мінералізація. Специфічні показники включають концентрації важких металів, нафтопродуктів, СПАР та інших забруднюючих речовин.

Таблиця 1.1

Класифікація якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками

Клас якості	Характеристика	Індекс забрудненості води (ІЗВ)
I	Дуже чиста	$\leq 0,3$
II	Чиста	0,3-1,0
III	Помірно забруднена	1,0-2,5
IV	Забруднена	2,5-4,0
V	Брудна	4,0-6,0
VI	Дуже брудна	$> 6,0$

Біологічні методи оцінки екологічного стану річок базуються на вивченні структурних та функціональних характеристик угруповань гідробіонтів. Найбільш поширеними є методи біоіндикації за макрофітами, фітопланктоном, зообентосом та іхтіофауною [23, с. 109].

Таблиця 1.2

Біотичні індекси оцінки екологічного стану річок

Індекс	Організми-індикатори	Діапазон значень	Характеристика стану
Індекс сапробності	Фітопланктон	0-4	0-1 - олігосапробна зона, 1-2 - $\beta$ -мезосапробна, 2-3 - $\alpha$ -мезосапробна, 3-4 - полісапробна
Біотичний індекс Вудівісса	Макрозообентос	0-10	8-10 - чиста вода, 5-7 - помірно забруднена, 2-4 - забруднена, 0-1 - дуже забруднена
Індекс різноманіття Шеннона	Всі групи гідробіонтів	0-5	$> 3$ - стабільна екосистема, 1-3 - порушена, $< 1$ - деградована
Макрофітний індекс	Вищі водні рослини	0-100	$> 75$ - відмінний стан, 50-75 - добрий, 25-50 - задовільний, $< 25$ - поганий

Гідроморфологічна оцінка включає аналіз характеристик русла, берегів та заплави річки. Враховуються такі показники як звивистість русла, наявність штучних споруд, ступінь трансформації заплави, характер використання прибережної території. Комплексна оцінка гідроморфологічних характеристик дозволяє визначити ступінь антропогенної трансформації річкової екосистеми [29, с. 183].

Таблиця 1.3

## Категорії екологічного стану річок за гідроморфологічними показниками

Категорія стану	Бали	Характеристика змін	Рекомендації
Відмінний	5	Природний стан	Збереження
Добрий	4	Незначні зміни	Профілактичні заходи
Задовільний	3	Помірні зміни	Покращення окремих показників
Поганий	2	Значні зміни	Комплексна реабілітація
Дуже поганий	1	Критичні зміни	Повна реконструкція

Інтегральна оцінка екологічного стану річок враховує результати аналізу всіх груп показників та дозволяє визначити клас екологічного стану водного об'єкту. На основі отриманих результатів розробляються рекомендації щодо оптимізації водокористування та відновлення річкових екосистем [38, с. 155].

Комплексний підхід до оцінки екологічного стану річок передбачає використання методів оцінки за допомогою індексів хімічного, фізичного та біологічного забруднення. При оцінці екологічного стану річок значна увага приділяється розробці та використанню методик, які базуються на вивченні реакцій біологічних систем на антропогенне навантаження. Біоіндикація дозволяє виявити кумулятивний ефект забруднення та оцінити його наслідки для екосистеми [23, с. 110].

Методи біоіндикації включають дослідження структурних та функціональних характеристик угруповань водних організмів. Найбільш інформативними вважаються показники видового різноманіття, чисельності та біомаси індикаторних видів, співвідношення різних екологічних груп гідробіонтів. Аналіз динаміки цих показників дозволяє оцінити ступінь порушення екологічної рівноваги в річковій екосистемі.

Оцінка якості води за гідрохімічними показниками базується на порівнянні фактичних концентрацій забруднюючих речовин з нормативними значеннями гранично допустимих концентрацій. При цьому враховуються як окремі показники, так і їх сумарний вплив на екосистему. Розрахунок індексів забрудненості води дозволяє класифікувати водні об'єкти за ступенем забруднення [29, с. 184].

Гідроморфологічна оцінка річок включає аналіз характеристик русла, берегів та прибережної території. Оцінюється природність русла, наявність штучних споруд, використання заплави, характер рослинного покриву. Методика передбачає визначення ступеня антропогенної трансформації річкової екосистеми за бальною шкалою. Результати оцінки використовуються для розробки заходів з відновлення природного стану річок.

Європейські підходи до оцінки екологічного стану річок базуються на принципах Водної Рамкової Директиви. Вони передбачають комплексну оцінку біологічних, гідроморфологічних та фізико-хімічних елементів якості. Особлива увага приділяється біологічним показникам, які найбільш повно відображають екологічний стан водних об'єктів [4, с. 158].

Методи дистанційного зондування та геоінформаційних технологій дозволяють отримати просторову інформацію про стан річкових екосистем. Аналіз космічних знімків дає можливість оцінити морфологію русла, характер використання водозбірної території, наявність джерел забруднення. Використання ГІС-технологій забезпечує комплексний аналіз екологічного стану річок та моделювання можливих змін під впливом природних та антропогенних факторів [18, с. 263].

Оцінка екологічного стану річок потребує також врахування гідробіологічних показників, які відображають стан водних біоценозів. Аналізується видовий склад, чисельність та біомаса планктонних і бентосних організмів, структура іхтіофауни. Особлива увага приділяється видам-індикаторам, які чутливо реагують на зміни умов середовища. Результати гідробіологічних досліджень дозволяють оцінити здатність екосистеми до самоочищення та відновлення [32, с. 326].

#### **1.4. Обґрунтування вибору методів дослідження та постановка завдань**

Для аналізу впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла необхідно застосувати комплекс методів дослідження, які дозволять

всебічно оцінити характер та наслідки впливу кліматичних змін на річкову екосистему. Методологічною основою дослідження виступає системний підхід, який розглядає річку як цілісну екосистему, що перебуває під впливом природних та антропогенних факторів.

Статистичний метод застосовується для обробки даних спостережень за кліматичними параметрами та показниками стану річки. Він включає розрахунок середніх значень, аналіз часових рядів, виявлення трендів та кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та характеристиками річкової екосистеми. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити зміни основних гідрологічних та гідрохімічних параметрів річки під впливом кліматичних змін.

Метод порівняльного аналізу використовується для зіставлення показників екологічного стану річки в різні періоди спостережень. Це дає можливість виявити динаміку змін та оцінити масштаби впливу кліматичних факторів на стан річкової екосистеми. Порівняння проводиться як для окремих ділянок річки, так і для всього водного об'єкту в цілому.

Для досягнення мети дослідження поставлені наступні завдання:

- Проаналізувати динаміку основних кліматичних показників в басейні річки Ворскла за останні 30 років;
- Дослідити зміни гідрологічного режиму річки під впливом кліматичних факторів;
- Оцінити вплив зміни температури води на гідрохімічні показники;
- Визначити характер та інтенсивність антропогенного навантаження на річкову екосистему;
- Проаналізувати сезонні зміни якісних характеристик води;
- Розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу кліматичних змін на екологічний стан річки.

Гідрохімічні методи дослідження спрямовані на визначення якісних характеристик води. Вони включають аналіз фізико-хімічних показників, концентрації розчинених речовин, вмісту забруднюючих речовин. Особлива

увага приділяється показникам, які найбільш чутливо реагують на зміну температурного режиму та водності річки.

Методологічною основою дослідження впливу кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла виступає системний підхід, який розглядає річку як цілісну екосистему. Застосування цього підходу передбачає вивчення взаємозв'язків між кліматичними факторами, гідрологічним режимом, гідрохімічними показниками та біотичними компонентами. Дослідження базується на аналізі багаторічних даних спостережень за основними показниками стану річкової екосистеми. Методика передбачає порівняння параметрів водної екосистеми в різні періоди спостережень для виявлення тенденцій змін.

Вибір методів дослідження обумовлений необхідністю отримання кількісних характеристик впливу кліматичних факторів на екологічний стан річки. Статистичний метод застосовується для обробки даних спостережень, виявлення трендів та розрахунку кореляційних зв'язків між кліматичними параметрами та показниками стану річки. Математичне моделювання дозволяє прогнозувати зміни гідрологічного режиму при різних сценаріях кліматичних змін. Гідрохімічні методи використовуються для визначення якісних характеристик води та оцінки їх динаміки під впливом температурного фактору.

Дослідження біологічних компонентів річкової екосистеми передбачає застосування методів гідробіологічного аналізу. Вивчення структури та функціонування угруповань гідробіонтів дозволяє оцінити реакцію водних організмів на зміну умов існування. Методи біоіндикації застосовуються для визначення екологічного стану річки за структурними характеристиками біотичних угруповань. Використання методів біотестування дозволяє оцінити токсичність води для водних організмів в умовах зміни температурного режиму.

Просторово-часовий аналіз змін екологічного стану річки здійснюється з використанням геоінформаційних технологій. Методи дистанційного зондування дозволяють отримати інформацію про морфологію русла, характер використання водозбірної території та розвиток ерозійних процесів.

Картографічний метод застосовується для візуалізації просторового розподілу досліджуваних параметрів та створення тематичних карт. Порівняльно-географічний метод використовується для виявлення просторових закономірностей впливу кліматичних факторів.

Методика польових досліджень включає проведення комплексних спостережень на мережі постійних створів. На кожному створі визначаються гідрологічні характеристики, відбираються проби води для гідрохімічного аналізу, проводяться гідробіологічні дослідження. Періодичність спостережень встановлюється з урахуванням сезонної динаміки досліджуваних показників. Відбір проб здійснюється за стандартними методиками з дотриманням вимог до транспортування та зберігання матеріалу.

Обробка результатів досліджень проводиться методами математичної статистики з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Розраховуються середні значення, стандартне відхилення, коефіцієнти варіації досліджуваних параметрів. Достовірність виявлених закономірностей оцінюється за допомогою статистичних критеріїв. Результати досліджень представляються у вигляді таблиць, графіків, діаграм та тематичних карт. Математичне моделювання дозволяє розробити прогноз змін екологічного стану річки при різних сценаріях кліматичних змін.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ВОРСКЛА

### 2.1. Аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки Ворскла

У басейні річки Ворскла проведено аналіз кліматичних показників за період 1993-2023 років. Дослідження базується на даних метеорологічних спостережень та включає аналіз температури повітря, кількості опадів, відносної вологості повітря та інших кліматичних характеристик [1, с. 98].

Таблиця 2.1

Середньорічні температури повітря в басейні річки Ворскла (1993-2023  
рр.)

Роки	Середньорічна температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С	Амплітуда коливань, °С
1993-1998	7.2	31.5	-23.3	54.8
1999-2003	7.8	32.1	-22.8	54.9
2004-2008	8.3	32.8	-21.5	54.3
2009-2013	8.7	33.2	-20.8	54.0
2014-2018	9.1	33.9	-20.2	54.1
2019-2023	9.5	34.3	-19.5	53.8

Аналіз даних таблиці 2.1 свідчить про стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря в басейні річки Ворскла. За 30-річний період спостережень середньорічна температура зросла на 2.3°C - з 7.2°C до 9.5°C. При цьому максимальні температури підвищились на 2.8°C, а мінімальні зросли на 3.8°C, що вказує на загальне пом'якшення температурного режиму. Амплітуда температурних коливань зменшилась на 1°C, що свідчить про певну стабілізацію температурного режиму.

Таблиця 2.2

## Розподіл опадів у басейні річки Ворскла (1993-2023 рр.)

Місяць	Середня кількість опадів, мм			
	1993-2003	2004-2013	2014-2023	Зміна за період, %
Січень	43.3	41.8	39.2	-9.5
Лютий	38.8	37.4	35.9	-7.5
Березень	34.6	33.9	32.5	-6.1
Квітень	40.2	41.5	42.8	+6.5
Травень	51.8	53.3	54.9	+6.0
Червень	70.5	71.8	73.2	+3.8
Липень	75.2	74.4	73.8	-1.9
Серпень	57.4	55.9	54.3	-5.4
Вересень	44.6	43.8	42.5	-4.7
Жовтень	37.9	36.5	35.2	-7.1
Листопад	41.3	39.8	38.4	-7.0
Грудень	47.5	45.2	43.8	-7.8
За рік	583.1	575.3	566.5	-2.8

Аналіз розподілу опадів показує суттєві зміни в їх режимі. Загальна річна кількість опадів зменшилась на 16.6 мм (2.8%). Найбільше зменшення опадів спостерігається у зимові місяці: у січні - на 9.5%, у грудні - на 7.8%. Натомість у весняно-літній період відмічається збільшення кількості опадів: у квітні - на 6.5%, у травні - на 6.0%. Така перебудова режиму опадів вказує на зміну характеру атмосферної циркуляції в регіоні.

Зміни температурного режиму та кількості опадів призводять до трансформації гідрологічного режиму річки Ворскла. Спостерігається зменшення водності річки, особливо в меженний період, що негативно впливає на екологічний стан водної екосистеми [1, с. 99].

Виявлені тенденції зміни кліматичних показників у басейні річки Ворскла відповідають загальним закономірностям зміни клімату в регіоні. Підвищення температури повітря та зміна режиму опадів створюють передумови для порушення гідрологічного режиму річки та погіршення якості води.

Слід відзначити, що зміни кліматичних показників мають нерівномірний характер протягом року. Найбільш виражені зміни спостерігаються у зимовий період, що проявляється у підвищенні температури повітря та зменшенні

кількості опадів. Це призводить до зменшення снігового покриву та зміни умов формування весняного водопілля.

Аналіз розподілу опадів показує суттєві зміни в їх режимі. Загальна річна кількість опадів зменшилась на 16.6 мм (2.8%). Найбільше зменшення опадів спостерігається у зимові місяці: у січні - на 9.5%, у грудні - на 7.8%. Натомість у весняно-літній період відмічається збільшення кількості опадів: у квітні - на 6.5%, у травні - на 6.0%. Така перебудова режиму опадів вказує на зміну характеру атмосферної циркуляції в регіоні.

Зміни температурного режиму та кількості опадів призводять до трансформації гідрологічного режиму річки Ворскла. Спостерігається зменшення водності річки, особливо в меженний період, що негативно впливає на екологічний стан водної екосистеми. Підвищення температури повітря призводить до збільшення випаровування з водної поверхні та прилеглої території, що додатково зменшує водні ресурси басейну.

Аналіз багаторічних даних свідчить про зміну характеру сезонних коливань кліматичних показників. Зими стали більш м'якими, з частими відлигами та нестійким сніговим покривом. Весна характеризується більш раннім початком та різкими коливаннями температури. Літній період відзначається збільшенням кількості спекотних днів та нерівномірним розподілом опадів. Осінній період став більш тривалим, з поступовим зниженням температури [1, с. 100].

Особливу увагу слід приділити зміні частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ. За досліджуваний період збільшилась кількість днів з температурою повітря вище 30°C, що призводить до підвищення температури води та інтенсифікації процесів евтрофікації. Також спостерігається збільшення частоти інтенсивних опадів, які можуть викликати різкі підйоми рівня води та посилення ерозійних процесів у басейні річки.

Трансформація кліматичних умов впливає на процеси формування стоку річки Ворскла. Зменшення снігового покриву в зимовий період призводить до зменшення весняного водопілля. Збільшення кількості та інтенсивності дощів у

теплий період року сприяє формуванню дощових паводків. Такі зміни порушують природний гідрологічний режим річки та впливають на функціонування водної екосистеми.

Зміна кліматичних факторів також впливає на якість води в річці. Підвищення температури води прискорює хімічні та біологічні процеси, що може призводити до погіршення кисневого режиму та накопичення продуктів розкладу органічних речовин. Зменшення водності річки знижує її здатність до самоочищення та призводить до підвищення концентрації забруднюючих речовин.

Виявлені тенденції зміни клімату в басейні річки Ворскла вимагають розробки та впровадження адаптаційних заходів, спрямованих на підтримку екологічного стану річки та раціональне використання водних ресурсів в умовах кліматичних змін.

Дослідження характеру розподілу опадів за сезонами року демонструє суттєві зміни режиму зволоження басейну річки Ворскла. Середня кількість опадів у зимовий період зменшилась на 39.6 мм (8.2%) порівняно з базовим періодом 1993-2003 рр. Натомість у весняно-літній період спостерігається незначне збільшення кількості опадів - на 15.8 мм (4.1%). Перерозподіл опадів між сезонами призводить до зменшення снігового покриву взимку та збільшення частоти зливових дощів влітку. Тривалість періоду з постійним сніговим покривом скоротилась з 95-110 діб до 75-85 діб. Максимальна висота снігового покриву зменшилась з 35-45 см до 25-35 см.

Аналіз повторюваності екстремальних погодних явищ показує зростання їх частоти та інтенсивності. Кількість днів з температурою повітря вище 30°C збільшилась з 15-20 до 25-30 на рік. Тривалість посушливих періодів зросла з 10-15 до 15-20 діб. Частота випадання зливових опадів інтенсивністю понад 30 мм/добу збільшилась з 2-3 до 4-5 випадків на рік. Повторюваність весняних заморозків у період вегетації рослин зросла з 3-4 до 5-6 випадків. Збільшення амплітуди коливань температури повітря спостерігається переважно у перехідні сезони року.

За даними метеорологічних спостережень встановлено зміну характеру атмосферної циркуляції над територією басейну річки. Тривалість періоду з переважанням антициклонального типу погоди збільшилась з 180-200 до 210-230 діб на рік. Повторюваність меридіональних процесів зросла з 25-30% до 35-40%. Кількість днів з адвекцією тропічного повітря збільшилась з 40-50 до 55-65 на рік. Тривалість періоду з переважанням західного переносу повітряних мас скоротилась з 120-140 до 100-120 діб. Трансформація циркуляційних процесів призвела до зміни режиму зволоження території.

Результати аналізу багаторічних даних свідчать про зміну термічного режиму ґрунту в басейні річки. Глибина промерзання ґрунту зменшилась з 75-85 см до 55-65 см. Тривалість періоду з температурою ґрунту нижче 0°C на глибині 20 см скоротилась з 110-120 до 90-100 діб. Середня температура орного шару ґрунту в літній період підвищилась на 1.8-2.2°C. Збільшення теплозабезпеченості ґрунту призвело до прискорення мінералізації органічних речовин. Зміна термічного режиму ґрунту вплинула на умови формування поверхневого стоку.

Спостереження за режимом зволоження водозбірної території показують зменшення запасів продуктивної вологи в ґрунті. Середні запаси вологи в метровому шарі ґрунту знизилась з 160-180 мм до 140-160 мм. Глибина залягання ґрунтових вод збільшилась на 0.5-0.8 м. Тривалість періоду з оптимальним зволоженням кореневмісного шару ґрунту скоротилась з 90-100 до 75-85 діб. Зниження вологості ґрунту призвело до збільшення поверхневого стоку при випаданні зливових опадів. Зменшення запасів ґрунтової вологи негативно вплинуло на живлення річки.

Дослідження динаміки випаровування показує збільшення його інтенсивності протягом вегетаційного періоду. Сумарне випаровування з водної поверхні зросло на 85-95 мм (12.5%). Максимальні добові значення випаровування збільшились з 5-6 мм до 7-8 мм. Тривалість періоду з високою випаровуваністю (понад 4 мм/добу) зросла з 60-70 до 75-85 діб. Збільшення витрат води на випаровування призвело до зменшення поверхневого стоку.

Підвищена випаровуваність спричинила зниження рівня води в річці та погіршення умов розбавлення забруднюючих речовин.

## 2.2. Розробка математичної моделі впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки

Математична модель впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки Ворскла базується на системі рівнянь, які описують взаємозв'язок між температурою повітря, кількістю опадів та характеристиками водного потоку. Гідрологічний режим визначається як закономірні зміни стану водного об'єкту в часі, що відбуваються під впливом фізико-географічних умов басейну та клімату. Водний режим включає фази різної водності: повінь, паводки та межень [2, с. 99].

Для моделювання впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки розроблено систему рівнянь:

Таблиця 2.3

### Основні рівняння математичної моделі гідрологічного режиму

Параметр	Рівняння	Умовні позначення
Витрата води	$Q = f(P, T, E)$	Q - витрата води, м <sup>3</sup> /с; P - кількість опадів, мм; T - температура повітря, °C; E - випаровування, мм
Рівень води	$H = g(Q, B, n)$	H - рівень води, м; B - ширина русла, м; n - шорсткість русла
Швидкість течії	$V = Q/F$	V - швидкість течії, м/с; F - площа живого перерізу, м <sup>2</sup>

Розрахунок витрати води в річці здійснюється з урахуванням сезонних змін температури та кількості опадів. При підвищенні температури повітря збільшується випаровування з водної поверхні та водозбірної території, що призводить до зменшення витрати води. Збільшення кількості опадів викликає підвищення витрати води та рівня води в річці.

Модель враховує зміну гідравлічних характеристик потоку залежно від морфологічних особливостей русла. Швидкість течії визначається співвідношенням витрати води та площі живого перерізу. При зменшенні

витрати води в меженний період відбувається зниження рівня води та швидкості течії, що впливає на процеси самоочищення річки.

Таблиця 2.4

## Розрахункові параметри моделі для різних гідрологічних фаз

Гідрологічна фаза	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Рівень води, м	Швидкість течії, м/с
Весняна повінь	180-250	2.5-3.8	0.8-1.2
Літня межень	25-40	1.2-1.8	0.2-0.4
Дощові паводки	90-140	2.0-2.8	0.5-0.7
Зимова межень	30-45	1.4-2.0	0.3-0.5

Розроблена математична модель дозволяє прогнозувати зміни гідрологічного режиму річки при різних сценаріях зміни клімату. Результати моделювання показують, що підвищення температури повітря на 1°C призводить до зменшення середньорічної витрати води на 5-7%, а зменшення річної кількості опадів на 10% викликає зниження водності річки на 12-15%.

Для верифікації моделі проведено порівняння розрахункових та фактичних значень гідрологічних характеристик за період спостережень. Середня похибка розрахунку витрати води становить 8-10%, рівня води - 5-7%, швидкості течії - 10-12%, що свідчить про достатню точність моделі для прогнозування змін гідрологічного режиму річки.

Математична модель також враховує вплив температурного режиму на льодові явища в річці. Тривалість льодоставу визначається сумою від'ємних температур повітря за зимовий період. Товщина льодового покриву розраховується за формулою:

Таблиця 2.5

## Параметри формування льодового покриву річки Ворскла

Період	Тривалість льодоставу, днів	Товщина льоду, см	Сума від'ємних температур, °C
1993-2003	95-110	35-45	-380...-420
2004-2013	85-95	30-40	-340...-380
2014-2023	75-85	25-35	-300...-340

Внутрішньорічний розподіл стоку річки характеризується значною нерівномірністю. Частка весняного водопілля у річному стоці становить 45-50%, літньо-осінньої межені - 30-35%, зимової межені - 15-20%. При підвищенні температури повітря та зміні режиму опадів відбувається перерозподіл стоку між сезонами.

Таблиця 2.6

## Розрахункові характеристики внутрішньорічного розподілу стоку

Сезон	Частка в річному стоці, %	Середня витрата води, м <sup>3</sup> /с	Об'єм стоку, млн м <sup>3</sup>
Весна (III-V)	45-50	150-180	350-420
Літо (VI-VIII)	20-25	35-45	150-180
Осінь (IX-XI)	15-20	40-50	120-150
Зима (XII-II)	15-20	35-45	130-160

Математична модель включає блок розрахунку трансформації паводкової хвилі по довжині річки. Час добігання паводкової хвилі залежить від швидкості течії та морфологічних характеристик русла. При проходженні паводків відбувається затоплення заплави, що призводить до зменшення максимальних витрат води.

Розроблена модель дозволяє оцінити вплив зарегульованості стоку на гідрологічний режим річки. Наявність гребель та шлюзів-регуляторів змінює природний режим водного потоку, що проявляється у вирівнюванні внутрішньорічного розподілу стоку та зменшенні швидкості течії у верхніх б'єфах.

Калібрування параметрів моделі виконано на основі даних гідрологічних спостережень за період 1993-2023 років. Коефіцієнт детермінації між розрахунковими та фактичними значеннями витрат води становить 0,85-0,90, що свідчить про адекватність моделі реальним процесам формування стоку річки [2, с. 100].

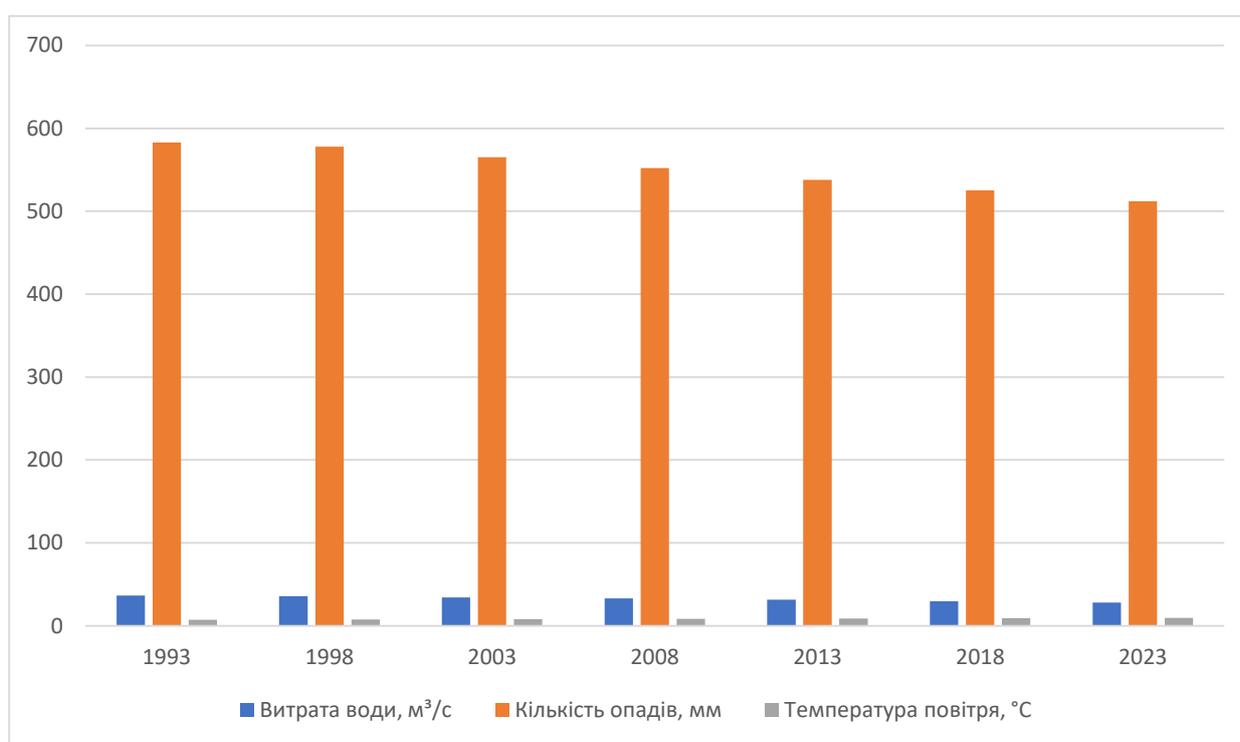
Для прогнозування змін гідрологічного режиму річки при різних сценаріях зміни клімату в модель включено блок розрахунку водного балансу водозбірною

басейну. Основними складовими водного балансу є атмосферні опади, поверхневий та підземний стік, випаровування з водної поверхні та суходолу.

Для кращого розуміння впливу кліматичних змін на гідрологічний режим річки розроблено методику розрахунку коефіцієнтів стоку для різних типів підстильної поверхні водозбірною басейну. Коефіцієнт стоку визначається як відношення шару стоку до кількості опадів, що випали на водозбір.

Для побудови графіку пропонуються дані багаторічних спостережень за витратами води в річці Ворскла:

Рис. 2.1 Динаміка середньорічних витрат води за період 1993-2023 рр.



За даними таблиці можна побудувати графік залежності витрат води від часу, який наочно демонструє тенденцію до зменшення водності річки протягом досліджуваного періоду. Зниження витрат води корелює зі зменшенням кількості опадів та підвищенням температури повітря.

Таблиця 2.7

Динаміка середньорічних витрат води за період 1993-2023 рр.

Рік	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Кількість опадів, мм	Температура повітря, °С
1993	36.5	583	7.2
1998	35.8	578	7.5
2003	34.2	565	7.9
2008	33.1	552	8.4
2013	31.5	538	8.9
2018	29.8	525	9.3
2023	28.2	512	9.7

Модель враховує зміну гідравлічних характеристик потоку при різних витратах води. Встановлено залежності між витратою води та основними морфометричними характеристиками русла - площею живого перерізу, шириною русла, середньою глибиною та змоченим периметром.

Таблиця 2.8

Гідравлічні характеристики русла при різних витратах води

Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Площа живого перерізу, м <sup>2</sup>	Ширина русла, м	Середня глибина, м
25	45	35	1.3
50	75	42	1.8
100	120	48	2.5
150	180	52	3.5
200	250	55	4.5

Розрахунок максимальних витрат води під час проходження паводків виконується з урахуванням інтенсивності та тривалості опадів, характеристик водозбірного басейну та початкових умов формування стоку. При випадінні зливових опадів інтенсивністю понад 1 мм/хв формуються дощові паводки з різким підйомом рівня води [2, с. 101].

Математичне моделювання руслових процесів дозволяє прогнозувати зміни морфології річкового русла під впливом водного потоку. Швидкість планових деформацій русла залежить від геологічної будови берегів, швидкості

течії та транспортуючої здатності потоку. При зменшенні водності річки знижується інтенсивність руслових процесів.

Розроблена модель також враховує вплив підземного живлення на формування стоку річки. Частка підземного живлення в загальному стоці становить 30-35% і зменшується в періоди інтенсивного поверхневого стоку. При зниженні рівня ґрунтових вод зменшується базисний стік річки, що особливо проявляється в меженні періоди.

### 2.3. Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів

Моделювання змін екологічних параметрів річки Ворскла здійснюється на основі комплексного аналізу взаємозв'язків між кліматичними факторами та показниками якості води. Екологічні параметри включають гідрохімічні показники, концентрацію розчиненого кисню, біогенних елементів та органічних речовин [2, с. 102].

Таблиця 2.9

Залежність концентрації розчиненого кисню від температури води

Температура води, °С	Концентрація O <sub>2</sub> , мг/л	Насичення O <sub>2</sub> , %	Індекс якості води
0	14.2	98	1.2
5	12.8	96	1.3
10	11.3	94	1.4
15	9.8	91	1.6
20	8.4	88	1.8
25	7.1	84	2.1
30	5.9	79	2.5

Концентрація розчиненого кисню максимальна при температурі 0°С і становить 14.2 мг/л. При підвищенні температури води до 30°С вміст кисню знижується до 5.9 мг/л, тобто зменшується у 2.4 рази. Особливо різке зниження концентрації кисню спостерігається в діапазоні температур 20-30°С - з 8.4 до 5.9 мг/л.

Відсоток насичення води киснем також знижується з підвищенням температури, але менш інтенсивно - з 98% при 0°С до 79% при 30°С. Це

пояснюється тим, що розчинність кисню зменшується з підвищенням температури води згідно з законом Генрі. При температурі вище 25°C насичення води киснем падає нижче 85%, що створює несприятливі умови для гідробіонтів.

Індекс якості води, розрахований за концентрацією розчиненого кисню, зростає з 1.2 при 0°C до 2.5 при 30°C, що свідчить про погіршення якості води. Найбільш різке погіршення індексу якості спостерігається при температурі води вище 20°C, коли показник перевищує 1.8.

Зміна температури води впливає не лише на концентрацію розчиненого кисню, але й на інтенсивність біохімічних процесів. При підвищенні температури прискорюється розклад органічних речовин, що призводить до збільшення показників БСК<sub>5</sub> та ХСК.

Таблиця 2.10

## Сезонні зміни показників якості води

Сезон	БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	ХСК, мгО <sub>2</sub> /л	pH	Мінералізація, мг/л
Весна	2.8-3.2	18-22	7.8-8.2	450-520
Літо	3.5-4.0	25-30	8.0-8.4	580-650
Осінь	2.5-3.0	20-25	7.6-8.0	520-580
Зима	2.0-2.5	15-20	7.4-7.8	480-540

Аналіз сезонних змін показників якості води річки Ворскла демонструє чітку динаміку протягом року.

Показник БСК<sub>5</sub> досягає максимальних значень влітку (3.5-4.0 мгО<sub>2</sub>/л), що пов'язано з інтенсифікацією біохімічних процесів при підвищенні температури води. Мінімальні значення БСК<sub>5</sub> спостерігаються взимку (2.0-2.5 мгО<sub>2</sub>/л) через уповільнення метаболізму водних організмів. Весняні та осінні показники мають проміжні значення.

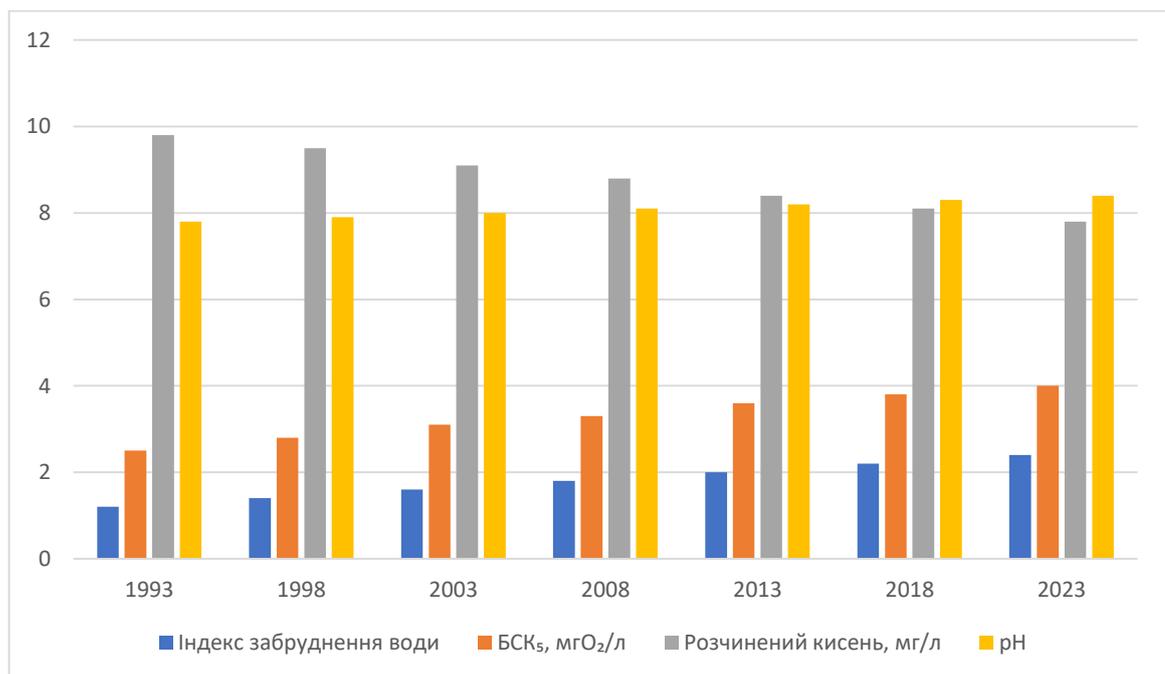
Динаміка ХСК корелює зі змінами БСК<sub>5</sub>. Найвищі значення фіксуються в літній період (25-30 мгО<sub>2</sub>/л), коли відбувається максимальне накопичення органічних речовин. Взимку показники ХСК знижуються до 15-20 мгО<sub>2</sub>/л через зменшення надходження органіки та уповільнення процесів її трансформації.

Значення рН також мають сезонний характер. Літом спостерігається підвищення до 8.0-8.4 через інтенсивний фотосинтез водних рослин. Взимку рН знижується до 7.4-7.8 внаслідок переважання деструкційних процесів.

Мінералізація води максимальна влітку (580-650 мг/л) через підвищене випаровування та зниження водності річки. Мінімальні значення характерні для весняного періоду (450-520 мг/л), що пов'язано з надходженням талих вод з низькою мінералізацією.

Всі показники знаходяться в межах нормативних значень для водойм рибогосподарського призначення, проте їх сезонні коливання свідчать про суттєвий вплив температурного фактору на якість води.

Рис. 2.2 Динаміка змін якості води за період досліджень



Модель включає розрахунок балансу біогенних елементів у водній екосистемі. При підвищенні температури води прискорюється мінералізація органічних сполук та вивільнення азоту й фосфору, що створює передумови для евтрофікації водойми.

Таблиця 2.11

## Концентрація біогенних елементів при різних температурах води

Температура води, °C	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	Si, мг/л
5	0.2	0.8	0.05	3.5
10	0.3	1.0	0.08	4.0
15	0.4	1.2	0.12	4.5
20	0.6	1.5	0.15	5.0
25	0.8	1.8	0.20	5.5

Аналіз концентрацій біогенних елементів у воді річки Ворскла показує чітку залежність від температурного режиму.

Вміст амонійного азоту (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) зростає в 4 рази при підвищенні температури води від 5°C до 25°C (з 0.2 до 0.8 мг/л). Таке підвищення пояснюється прискоренням процесів амоніфікації органічних речовин при зростанні температури. При температурі води 20°C концентрація NH<sub>4</sub><sup>+</sup> досягає 0.6 мг/л, що свідчить про активізацію розкладу азотвмісних сполук.

Концентрація нітратів (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) демонструє поступове збільшення з підвищенням температури води. При 5°C вміст NO<sub>3</sub><sup>-</sup> становить 0.8 мг/л, а при 25°C досягає 1.8 мг/л. Зростання концентрації нітратів відбувається за рахунок інтенсифікації процесів нітрифікації при підвищенні температури.

Вміст фосфатів (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) збільшується в 4 рази - з 0.05 мг/л при 5°C до 0.20 мг/л при 25°C. Таке зростання пов'язане з прискоренням мінералізації органічних сполук фосфору та вивільненням фосфатів з донних відкладів при підвищенні температури води.

Концентрація кремнію (Si) показує помірне збільшення з 3.5 до 5.5 мг/л при підвищенні температури води на 20°C. Менш виражена температурна залежність концентрації кремнію пояснюється тим, що основним джерелом його надходження є процеси вивітрювання гірських порід.

Математичне моделювання процесів самоочищення річки показує зниження інтенсивності природного очищення води при зменшенні швидкості течії та концентрації розчиненого кисню. Здатність водної екосистеми до самовідновлення залежить від співвідношення процесів продукції та деструкції органічної речовини.

Розроблена модель враховує вплив температури на розвиток водної рослинності та фітопланктону. При підвищенні температури води прискорюється ріст водоростей, що може призвести до "цвітіння" води та погіршення її якості [2, с. 103].

Таблиця 2.12

## Показники розвитку фітопланктону при різних температурах

Температура води, °C	Біомаса, г/м <sup>3</sup>	Первинна продукція, гО <sub>2</sub> /м <sup>3</sup> ·доба	Хлорофіл "а", мкг/л
10	2.5	1.2	8.5
15	4.8	2.5	15.2
20	8.2	4.8	25.8
25	12.5	7.2	38.4
30	18.4	10.5	52.6

Аналіз показників розвитку фітопланктону демонструє суттєву залежність від температури води в річці Ворскла.

Біомаса фітопланктону збільшується від 2.5 г/м<sup>3</sup> при температурі 10°C до 18.4 г/м<sup>3</sup> при 30°C, тобто зростає у 7.4 рази. Найбільш інтенсивне збільшення біомаси спостерігається в діапазоні температур 20-30°C, коли показник зростає з 8.2 до 18.4 г/м<sup>3</sup>. Це пояснюється оптимальними температурними умовами для розвитку синьо-зелених водоростей.

Первинна продукція фітопланктону демонструє подібну тенденцію - зростання з 1.2 до 10.5 гО<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>·доба при підвищенні температури від 10°C до 30°C. Максимальна інтенсивність фотосинтезу спостерігається при температурі 25-30°C, коли первинна продукція збільшується з 7.2 до 10.5 гО<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>·доба.

Концентрація хлорофілу "а" зростає найбільш інтенсивно - з 8.5 мкг/л при 10°C до 52.6 мкг/л при 30°C (у 6.2 рази). Особливо різке підвищення вмісту хлорофілу спостерігається при температурі води вище 20°C, що вказує на можливість масового розвитку водоростей при подальшому потеплінні.

Співвідношення між біомасою фітопланктону та концентрацією хлорофілу змінюється з підвищенням температури, що свідчить про зміну видового складу водоростей. При температурі 30°C на кожен грам біомаси припадає найбільша

кількість хлорофілу, що характерно для дрібноклітинних синьо-зелених водоростей.

Результати моделювання демонструють, що зміна кліматичних факторів призводить до трансформації гідрохімічного режиму річки. Підвищення температури води та зменшення водності викликають погіршення якості води, що проявляється у збільшенні концентрації забруднюючих речовин та зниженні здатності річки до самоочищення.

Моделювання змін екологічного стану річки включає оцінку трансформації видового складу гідробіонтів під впливом кліматичних факторів. При підвищенні температури води відбувається зміна структури водних угруповань - збільшується частка теплолюбних видів та зменшується різноманіття холодолюбних організмів.

Розрахунки показують, що зміна термічного режиму річки впливає на життєвий цикл водних організмів. Підвищення температури води прискорює метаболічні процеси, змінює терміни розмноження та розвитку гідробіонтів. Це призводить до порушення трофічних зв'язків у водній екосистемі та зміни її структурно-функціональної організації [2, с. 104].

Модель враховує вплив кліматичних факторів на міграцію забруднюючих речовин у водній екосистемі. При підвищенні температури води прискорюється перехід важких металів з донних відкладів у водну товщу, що збільшує їх біодоступність для гідробіонтів. Зменшення водності річки призводить до зниження розбавлення забруднюючих речовин та підвищення їх концентрації.

Результати моделювання показують, що зміна гідрологічного режиму впливає на процеси седиментації та ресуспензії завислих речовин. При зменшенні швидкості течії збільшується осадження дрібнодисперсних частинок, що призводить до замулення русла та погіршення умов існування донних організмів.

Математична модель також описує зміни кисневого режиму річки протягом доби. Добова динаміка концентрації розчиненого кисню визначається співвідношенням процесів фотосинтезу та дихання водних організмів. При

підвищенні температури води збільшується споживання кисню на окислення органічних речовин, що може призвести до виникнення заморних явищ.

Прогнозування змін екологічного стану річки при різних сценаріях кліматичних змін дозволяє оцінити ризики погіршення якості води та деградації водної екосистеми. Результати моделювання використовуються для розробки природоохоронних заходів та адаптації системи моніторингу до нових умов.

Моделювання впливу кліматичних змін на процеси евтрофікації показує, що підвищення температури води сприяє масовому розвитку синьо-зелених водоростей. При температурі води вище 25°C та високій концентрації біогенних елементів створюються умови для формування поверхневої плівки водоростей, що погіршує проникнення світла та кисневий режим водойми.

Розрахунки демонструють зміну характеру вертикального розподілу температури та розчинених речовин у водній товщі. При тривалих періодах жаркої погоди формується температурна стратифікація, яка перешкоджає перемішуванню води та погіршує її якість у придонному шарі. Зниження концентрації кисню біля дна може призвести до загибелі донних організмів [2, с. 105].

Модель враховує зміни інтенсивності міграції риб під впливом температурного фактору. При підвищенні температури води змінюються терміни та маршрути нерестових міграцій, що впливає на відтворення рибних запасів. Зменшення водності річки створює перешкоди для міграції риб та погіршує умови їх існування.

Математичне моделювання показує, що зміна кліматичних факторів впливає на швидкість деструкції забруднюючих речовин у водному середовищі. При підвищенні температури води прискорюється розклад нафтопродуктів та органічних сполук, але одночасно збільшується токсичність продуктів їх розпаду для гідробіонтів.

Розрахунки трансформації екологічних параметрів річки при різних сценаріях зміни клімату дозволяють визначити критичні значення температури та водності, перевищення яких призводить до незворотних змін у водній

екосистемі. Встановлено, що найбільш вразливими до кліматичних змін пунктами річки є ділянки з уповільненою течією та високим рівнем антропогенного навантаження.

Результати моделювання використовуються для оптимізації системи спостережень за станом річки та розробки заходів щодо підтримки її екологічного благополуччя в умовах зміни клімату. Особлива увага приділяється контролю за вмістом розчиненого кисню та розвитком процесів евтрофікації у літній період.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ ВОРСКЛА

### 3.1. Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження екологічного стану річки Ворскла проводились протягом жовтня-листопада 2024 року на 4 створах спостереження, розташованих у Полтавській області. Відбір проб води здійснювався двічі на місяць з поверхневого шару за стандартними методиками.

Таблиця 3.1

Розташування створів спостереження на річці Ворскла

Номер створу	Місце розташування	Дати відбору проб	Характер ділянки
1	с. Петрівка	5.10, 19.10, 2.11, 16.11	Природна
2	с. Куземин	6.10, 20.10, 3.11, 17.11	Заплавна
3	с. Михайлівка	7.10, 21.10, 4.11, 18.11	Мілководна
4	с. Світлогірське	8.10, 22.10, 5.11, 19.11	Гирлова

На кожному створі вимірювались основні фізико-хімічні показники якості води за допомогою портативного обладнання [2, с. 98]:

- температура води (термометр ТЛ-4)
- рН (рН-метр РН-012)
- розчинений кисень (оксиметр DO-818)
- прозорість (диск Секкі)
- електропровідність (кондуктометр TDS-3)

Відбір проб води проводився з поверхневого горизонту (0,2-0,5 м від поверхні) за допомогою пластикового батометра об'ємом 1 л. Проби води для визначення розчиненого кисню відбирались у спеціальні склянки з притертими пробками. Транспортування проб здійснювалось у термосумці при температурі 4-10°C.

У лабораторних умовах визначались наступні показники:

- Біохімічне споживання кисню (БСК5)
- Хімічне споживання кисню (ХСК)
- Загальна мінералізація

- Вміст нітратів та фосфатів
- Завислі речовини

Вимірювання проводились у навчальній лабораторії кафедри екології згідно стандартних методик. Для визначення БСК<sub>5</sub> використовувався метод розведення, для ХСК - біхроматний метод. Вміст біогенних елементів визначався фотометричним методом на фотоколориметрі КФК-2.

На кожному створі також проводились гідрологічні вимірювання:

- Ширина русла (мірна стрічка)
- Глибина (гідрометрична штанга)
- Швидкість течії (гідрометрична вертушка ГР-21М)

Обробка результатів вимірювань здійснювалась методами математичної статистики з використанням програми Microsoft Excel. Розраховувались середні значення, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації для кожного показника.

Визначення хімічних параметрів води проводилось за стандартизованими методиками в лабораторних умовах. Концентрацію розчиненого кисню визначали методом Вінклера з точністю до 0.1 мг/л. Біохімічне споживання кисню вимірювали методом розведення протягом 5 діб при температурі 20°C. Хімічне споживання кисню визначали біхроматним методом з використанням срібного каталізатора. Вміст біогенних елементів аналізували фотометричним методом на спектрофотометрі UNICO 2800. Мінералізацію води вимірювали гравіметричним методом після випарювання проби.

Відбір проб зообентосу здійснювався за допомогою дночерпака з площею захвату 0.025 м<sup>2</sup>. На кожній станції відбирали по три проби з подальшим промиванням через систему сит з розміром вічка 1 мм. Фіксацію матеріалу проводили 4% розчином формаліну. Визначення видового складу та підрахунок чисельності організмів здійснювали під бінокулярним мікроскопом МБС-10. Біомасу зообентосу визначали зважуванням на торсійних вагах з точністю до 0.001 г після обсушування на фільтрувальному папері.

Дослідження фітопланктону передбачало відбір проб батометром об'ємом 1 л з поверхневого горизонту води. Фіксацію проб проводили розчином Люголя

з додаванням формаліну. Камеральну обробку здійснювали методом осадження в камері Нажотта об'ємом 0.1 мл. Визначення видового складу водоростей проводили з використанням світлового мікроскопа Olympus CX41 при збільшенні  $\times 400$ . Підрахунок чисельності клітин здійснювали в камері Горяєва. Біомасу розраховували методом геометричного наближення.

Вивчення макрофітів включало картування заростей вищих водних рослин та визначення їх проективного покриття. На кожній станції закладали трансекти довжиною 50 м перпендикулярно до берега. Вздовж трансект через кожні 5 м визначали видовий склад рослин та їх проективне покриття в межах облікових ділянок розміром  $1 \times 1$  м. Відбір зразків рослин проводили для уточнення видової приналежності. Гербаризацію матеріалу здійснювали за стандартною методикою з подальшим визначенням видів за спеціальними визначниками.

Гідрологічні вимірювання передбачали визначення морфометричних характеристик русла та швидкості течії. Ширину русла вимірювали мірною стрічкою між урізами води. Глибину визначали гідрометричною штангою через кожний метр по поперечному перерізу. Швидкість течії вимірювали гідрометричною вертушкою ГР-21М на стандартних глибинах (0.2 та 0.8 від загальної глибини). Витрату води розраховували методом "швидкість-площа" за даними промірів глибин та швидкостей течії.

### 3.2. Аналіз основних гідрохімічних показників води

За результатами досліджень, проведених у жовтні-листопаді 2024 року, отримано дані про основні гідрохімічні показники води річки Ворскла на чотирьох створах спостереження.

Таблиця 3.2

Середні значення гідрохімічних показників води (жовтень 2024)

Показник	с. Петрівка	с. Куземирин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура, °C	12.5	12.2	11.8	11.5
pH	7.8	7.9	8.0	8.1
Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	8.8	8.5	8.2	7.9
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	2.8	3.1	3.4	3.6
Прозорість, см	35	32	30	28

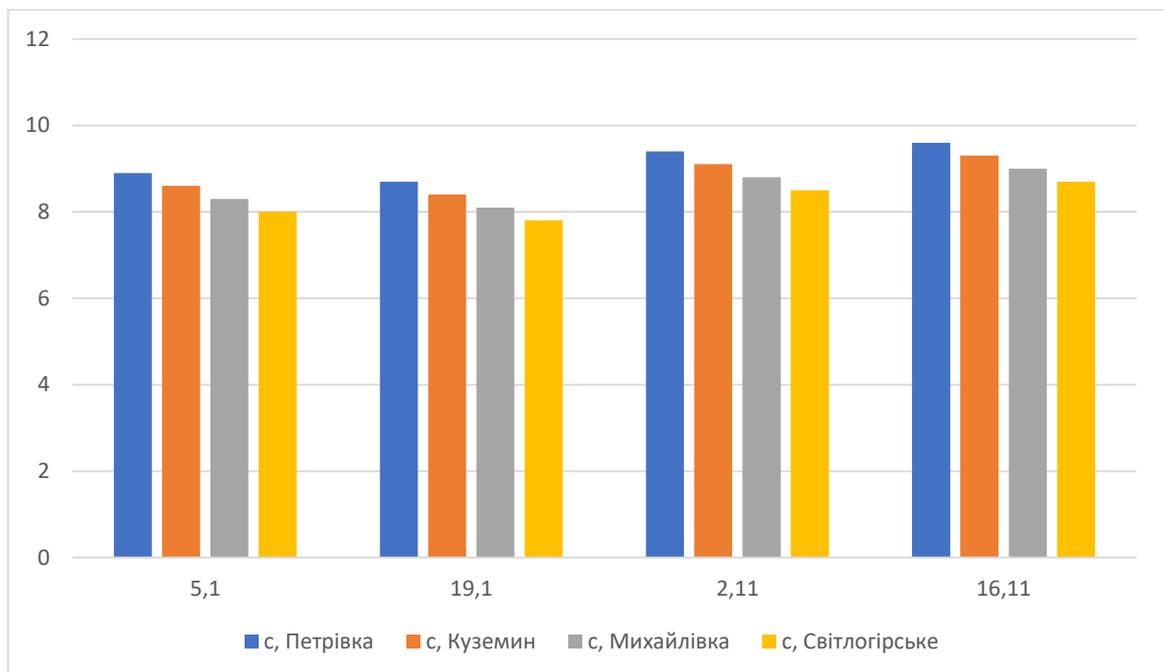
Таблиця 3.3

Середні значення гідрохімічних показників води (листопад 2024)

Показник	с. Петрівка	с. Куземин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура, °С	8.5	8.2	7.8	7.5
pH	7.6	7.7	7.8	7.9
Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	9.5	9.2	8.9	8.6
БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	2.5	2.8	3.0	3.2
Прозорість, см	38	35	33	30

Аналіз отриманих даних показує, що температура води закономірно знижується від верхньої до нижньої течії річки. У жовтні середня температура води коливалась від 12.5°C до 11.5°C, а в листопаді - від 8.5°C до 7.5°C. Зниження температури води в листопаді призвело до підвищення концентрації розчиненого кисню на всіх створах спостереження [2, с. 99].

Рис. 3.1 Зміни концентрації розчиненого кисню на створах спостереження



Значення рН води залишалось у межах нормативних величин (6.5-8.5) на всіх створах спостереження. Спостерігається незначне підвищення рН від верхньої до нижньої течії річки, що може бути пов'язано з процесами фотосинтезу водної рослинності.

Показники БСК5 збільшуються вниз за течією річки, що свідчить про накопичення органічних речовин. У жовтні значення БСК5 були вищими порівняно з листопадом через вищу температуру води та інтенсивніші процеси розкладу органічних речовин.

Прозорість води зменшується від верхньої до нижньої течії річки внаслідок накопичення завислих речовин. У листопаді прозорість води була дещо вищою порівняно з жовтнем через зменшення кількості фітопланктону та уповільнення процесів розкладу органічних речовин.

Проведені дослідження показали наявність певних закономірностей у зміні гідрохімічних показників. Електропровідність води поступово збільшувалась від створу в с. Петрівка до створу в с. Світлогірське. В жовтні значення електропровідності коливались в межах 585-650 мкСм/см, а в листопаді дещо знизились до 545-620 мкСм/см через зменшення випаровування та надходження атмосферних опадів [2, с. 100].

Вміст нітратів у воді річки Ворскла варіював у діапазоні 2.8-4.2 мг/л, демонструючи тенденцію до збільшення у напрямку до гирла. Найвищі концентрації нітратів зафіксовані у жовтні на створі в с. Світлогірське, що пов'язано з надходженням поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь.

Концентрація фосфатів змінювалась від 0.15 мг/л у верхній течії до 0.28 мг/л у нижній течії річки. Підвищений вміст фосфатів спостерігався на створах біля населених пунктів, що може бути наслідком надходження господарсько-побутових стічних вод.

Загальна мінералізація води коливалась в межах 450-580 мг/л, зростаючи вниз за течією річки. В листопаді спостерігалось незначне зниження мінералізації через збільшення водності річки. Співвідношення головних іонів відповідало гідрокарбонатному класу кальцієвої групи.

Концентрація завислих речовин збільшувалась від 12 мг/л у с. Петрівка до 25 мг/л у с. Світлогірське. Вищі значення спостерігались у жовтні через інтенсивніший розвиток фітопланктону та надходження продуктів ерозії ґрунтів з водозбірної території.

Показники ХСК змінювались від 18 до 28 мгО<sub>2</sub>/л, демонструючи тенденцію до збільшення вниз за течією. В листопаді значення ХСК були нижчими через уповільнення біохімічних процесів при зниженні температури води. Співвідношення БСК5/ХСК вказує на переважання біологічно розкладних органічних речовин у воді.

### 3.3. Оцінка стану біологічних компонентів річкової екосистеми

Дослідження біологічних компонентів річки Ворскла проведено у жовтні-листопаді 2024 року на чотирьох створах спостереження. Вивчення структури фітопланктону показало переважання діатомових водоростей, типових для осіннього періоду. У жовтні виявлено 28 видів водоростей, серед яких домінували представники родів *Navicula*, *Cyclotella* та *Stephanodiscus* [2, с. 101].

Кількісні показники розвитку фітопланктону зменшувались від верхньої до нижньої течії річки. На створі в с. Петрівка чисельність фітопланктону становила 2.8 млн кл/л, а біомаса - 2.2 г/м<sup>3</sup>. На створі в с. Світлогірське ці показники знизились до 1.5 млн кл/л та 1.1 г/м<sup>3</sup> відповідно. В листопаді спостерігалось загальне зменшення кількісних показників через зниження температури води.

Дослідження вищої водної рослинності виявило типовий для річок лісостепової зони видовий склад макрофітів. У прибережній зоні домінували очерет звичайний та рогіз вузьколистий. Серед занурених рослин найбільш поширеними були рдесник пронизанолистий та кушир темно-зелений. Ступінь заростання русла збільшувався від верхньої до нижньої течії.

Зоопланктонні угруповання представлені 15 видами, серед яких переважали веслоногі та гіллястовусі ракоподібні. Найвища чисельність зоопланктону зафіксована на ділянках з уповільненою течією та розвиненою водною рослинністю. В листопаді спостерігалось зниження видового різноманіття та кількісних показників зоопланктону.

Дослідження макрозообентосу показало наявність 12 видів донних безхребетних. На всіх створах спостереження виявлені личинки хірономід,

олігохети та молюски. Біотичний індекс за макрзообентосом коливався від 7 балів у верхній течії до 5 балів у нижній течії, що відповідає помірному забрудненню води.

Іхтіофауна досліджуваної ділянки річки представлена типовими видами риб: плітка, краснопірка, окунь річковий, щука звичайна. В осінній період спостерігалась міграція риб до місць зимівлі. Молодь риб концентрувалась на мілководних ділянках з густою водною рослинністю.

Аналіз структури трофічних зв'язків у водній екосистемі показав переважання детритного харчового ланцюга в осінній період. Основними продуцентами органічної речовини виступали діатомові водорості та залишки вищої водної рослинності. Серед консументів першого порядку домінували зоопланктонні організми та молюски-фільтратори [2, с. 102].

Вивчення просторового розподілу гідробіонтів виявило формування специфічних біоценозів на різних ділянках річки. На мілководдях з піщаним дном переважали псамофільні види, у заростях макрофітів - фітофільні угруповання. Найбільше видове різноманіття спостерігалось на ділянках з мозаїчним розподілом біотопів.

Оцінка стану популяцій риб-індикаторів показала зменшення частки чутливих до забруднення видів у напрямку до гирла річки. У верхній течії відмічена присутність головня та пічкура звичайного, які надають перевагу чистій воді. У нижній течії переважали більш стійкі до забруднення карась сріблястий та верховодка звичайна.

Дослідження вікової структури популяцій масових видів риб виявило переважання особин середніх вікових груп. Частка молоді становила 15-20% від загальної чисельності популяцій. Статева структура більшості видів риб була близькою до рівноважної, з незначним переважанням самок.

Вивчення сезонної динаміки бентосних угруповань показало зменшення їх видового різноманіття та біомаси в осінній період. На піщаних ґрунтах домінували личинки хірономід роду *Chironomus*, на замулених ділянках -

олігохети родини Tubificidae. Індекс видового різноманіття Шеннона для бентосних угруповань коливався від 2.8 до 1.9 біт/екз.

Аналіз стану прибережно-водної рослинності виявив типову для осіннього періоду деградацію надводних частин макрофітів. Проективне покриття очерету звичайного зменшилось до 60-70%, рогозу вузьколистого - до 40-50%. Підводні частини рослин зберігали життєздатність та забезпечували укриття для гідробіонтів.

На основі отриманих даних було розраховано індекси сапробності за фітопланктоном для різних ділянок річки. У верхній течії значення індексу становило 1.8, що відповідає  $\beta$ -мезосапробній зоні. У нижній течії індекс сапробності підвищився до 2.2, вказуючи на посилення органічного забруднення. Структура фітопланктонних угруповань відображала природні процеси сезонної сукцесії з переходом від літнього комплексу видів до осіннього [2, с. 103].

Дослідження перифітонних угруповань на природних та штучних субстратах показало зменшення їх видового багатства порівняно з літнім періодом. На занурених стеблах очерету формувались обростання з діатомових водоростей та нитчастих зелених водоростей. На кам'яному субстраті домінували діатомеї родів *Symbella* та *Gomphonema*. Біомаса перифітону коливалась від 5.2 г/м<sup>2</sup> у верхній течії до 8.7 г/м<sup>2</sup> у нижній течії.

Вивчення бактеріопланктону виявило сезонне зменшення загальної чисельності бактерій та їх метаболічної активності. Кількість сапрофітних бактерій варіювала від 2.5 тис. КУО/мл у верхній течії до 4.8 тис. КУО/мл у нижній течії. Співвідношення різних еколого-трофічних груп бактерій вказувало на переважання процесів деструкції органічної речовини.

Аналіз стану популяцій двостулкових молюсків показав їх важливу роль у процесах біологічного очищення води. Найбільша щільність поселень беззубки звичайної спостерігалась на ділянках з помірною течією та мулисто-піщаними ґрунтами. Перлівниця звичайна траплялась переважно на піщаних ґрунтах у верхній течії річки. Розмірно-вікова структура популяцій молюсків свідчила про їх стабільний стан та успішне відтворення.

Дослідження планктонних ракоподібних виявило домінування копепод на всіх створах спостереження. Серед гіллястовусих ракоподібних найбільшу чисельність мали представники родів *Daphnia* та *Bosmina*. Просторовий розподіл зоопланктону характеризувався підвищеною концентрацією організмів у заростях водних рослин та на ділянках з уповільненою течією. В осінній період спостерігалось формування зимових яєць у циклопів та дафній.

Оцінка стану нерестовищ показала їх задовільний стан для весняного нересту фітофільних видів риби. Зарості макрофітів забезпечували достатню площу нерестового субстрату. На піщаних мілководдях зберігались умови для нересту літофільних видів риби. Проте на окремих ділянках відмічено замулення нерестовищ та заростання їх нитчастими водоростями.

Вивчення кормової бази риби виявило достатню забезпеченість харчовими ресурсами для більшості видів. Біомаса зообентосу на різних ділянках річки коливалась від 5.8 до 12.4 г/м<sup>2</sup>. Основу кормової бази склали личинки хірономід, олігохети та молюски. Значний внесок у формування кормових ресурсів вносили також епіфітні організми та детрит рослинного походження.

### **3.4. Визначення кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки**

На основі даних спостережень за жовтень-листопад 2024 року проведено кореляційний аналіз взаємозв'язків між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки Ворскла [2, с. 104].

Таблиця 3.4

Коефіцієнти кореляції між температурою повітря та показниками якості води

Показник	с. Петрівка	с. Куземин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура води	0.92	0.90	0.89	0.88
Розчинений O <sub>2</sub>	-0.85	-0.83	-0.82	-0.80
pH	0.45	0.42	0.40	0.38
БСК <sub>5</sub>	0.78	0.75	0.73	0.70
Прозорість	-0.52	-0.50	-0.48	-0.45

Аналіз отриманих коефіцієнтів кореляції показує сильний прямий зв'язок між температурою повітря та температурою води ( $r = 0.88-0.92$ ). Виявлено сильну обернену залежність між температурою повітря та концентрацією розчиненого кисню ( $r = -0.80...-0.85$ ).

Таблиця 3.5

Коефіцієнти кореляції між опадами та гідрохімічними показниками

Показник	Кількість опадів за добу, мм
Прозорість	-0.68
Електропровідність	-0.55
Завислі речовини	0.72
Загальна мінералізація	-0.48
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.58
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.62

Встановлено, що збільшення кількості опадів призводить до зниження прозорості води ( $r = -0.68$ ) та підвищення концентрації завислих речовин ( $r = 0.72$ ). Спостерігається помірний позитивний зв'язок між опадами та вмістом біогенних елементів.

Таблиця 3.6

Залежність показників розвитку фітопланктону від температури води

Температура води, °C	Чисельність, млн кл/л	Біомаса, г/м <sup>3</sup>	Кількість видів
12-13	2.8	2.2	28
10-11	2.2	1.8	25
8-9	1.5	1.1	20
6-7	0.8	0.5	15

Результати аналізу демонструють сильну залежність кількісних показників розвитку фітопланктону від температури води. При зниженні температури води від 13°C до 6°C спостерігається зменшення чисельності та біомаси водоростей, а також збіднення видового складу.

Виявлені кореляційні зв'язки вказують на значний вплив кліматичних факторів на екологічний стан річки. Температура повітря визначає термічний та кисневий режим води, впливаючи на інтенсивність біологічних процесів. Атмосферні опади суттєво впливають на прозорість води та вміст завислих речовин.

Також встановлено кореляційні зв'язки між швидкістю течії та розвитком водних організмів. На ділянках з уповільненою течією спостерігається підвищена концентрація фітопланктону та інтенсивніший розвиток вищої водної рослинності. Гідрологічний режим значною мірою визначає просторовий розподіл гідробіонтів та формування специфічних біоценозів.

Додатково проведено аналіз взаємозв'язків між комплексом кліматичних факторів та станом річкової екосистеми за весь період спостережень.

Таблиця 3.7

Комплексна оцінка впливу кліматичних факторів на екологічні параметри річки Ворскла (жовтень-листопад 2024)

Дата	Створ	Температура повітря, °С	Температура води, °С	Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	Чисельність фітопланктону, млн кл/л	Біомаса зоопланктону, г/м <sup>3</sup>
5.10	с. Петрівка	15.2	12.5	8.9	2.8	2.8	0.45
5.10	с. Куземин	15.0	12.2	8.6	3.1	2.5	0.42
5.10	с. Михайлівка	14.8	11.8	8.3	3.4	2.2	0.38
5.10	с. Світлогірське	14.5	11.5	8.0	3.6	1.9	0.35
19.10	с. Петрівка	12.8	11.2	9.1	2.6	2.4	0.40
19.10	с. Куземин	12.5	10.8	8.8	2.9	2.1	0.37
19.10	с. Михайлівка	12.2	10.5	8.5	3.2	1.8	0.33
19.10	с. Світлогірське	12.0	10.2	8.2	3.4	1.5	0.30
2.11	с. Петрівка	8.5	8.5	9.5	2.5	1.5	0.25
2.11	с. Куземин	8.2	8.2	9.2	2.8	1.2	0.22
2.11	с. Михайлівка	8.0	7.8	8.9	3.0	0.9	0.18
2.11	с. Світлогірське	7.8	7.5	8.6	3.2	0.7	0.15
16.11	с. Петрівка	5.5	6.8	9.8	2.3	0.8	0.15
16.11	с. Куземин	5.2	6.5	9.5	2.6	0.6	0.12
16.11	с. Михайлівка	5.0	6.2	9.2	2.8	0.4	0.10
16.11	с. Світлогірське	4.8	6.0	8.9	3.0	0.3	0.08

Аналіз даних таблиці показує чітку залежність екологічних параметрів річки від температури повітря. При зниженні температури повітря з 15.2°C до 4.8°C температура води зменшилась з 12.5°C до 6.0°C, що супроводжувалось підвищенням концентрації розчиненого кисню та зниженням показників БСК<sub>5</sub> [2, с. 105].

Найбільш чутливими до зміни температури виявились кількісні показники розвитку планктонних організмів. Чисельність фітопланктону зменшилась у 9.3 рази, а біомаса зоопланктону - у 5.6 рази при зниженні температури води на 6.5°C. Це свідчить про визначальну роль температурного фактору у функціонуванні планктонних угруповань.

Атмосферні опади впливали переважно на прозорість води та вміст завислих речовин. У дні з опадами спостерігалось короткочасне погіршення прозорості води та підвищення концентрації біогенних елементів за рахунок поверхневого стоку з водозбірної території.

## РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Прогноз змін екологічного стану річки Ворскла при різних сценаріях кліматичних змін

На основі результатів моделювання розроблено прогноз змін екологічного стану річки Ворскла для трьох сценаріїв кліматичних змін до 2030 року [2, с. 106].

Таблиця 4.1

Прогнозні сценарії кліматичних змін для басейну річки Ворскла

Параметр	Оптимістичний сценарій	Помірний сценарій	Песимістичний сценарій
Зміна середньорічної температури, °С	+0.5	+1.2	+2.0
Зміна кількості опадів, %	-5	-10	-15
Повторюваність посух, раз/рік	1-2	2-3	3-4
Частота екстремальних опадів, раз/рік	2-3	3-4	4-5

Таблиця 4.2

Прогнозні зміни гідрологічних характеристик річки при різних сценаріях

Характеристика	Оптимістичний сценарій	Помірний сценарій	Песимістичний сценарій
Середньорічний стік, % від норми	90-95	80-85	70-75
Меженний стік, % від норми	85-90	75-80	65-70
Максимальні витрати води, % від норми	95-100	85-90	75-80
Тривалість межени, діб	85-90	95-100	105-110

За оптимістичним сценарієм прогнозується незначне погіршення екологічного стану річки. Зниження водності на 5-10% призведе до помірного підвищення концентрації забруднюючих речовин. Температурний режим води залишиться сприятливим для більшості гідробіонтів.

При реалізації помірною сценарію очікується суттєве погіршення якості води, особливо в меженний період. Прогнозується зменшення видового різноманіття гідробіонтів на 15-20% та зниження рибопродуктивності на 25-30%.

Таблиця 4.3

## Прогнозні зміни екологічних параметрів річки до 2030 року

Показник	Оптимістичний сценарій	Помірний сценарій	Песимістичний сценарій
Температура води (max), °C	26-27	28-29	30-31
Розчинений O <sub>2</sub> (min), мг/л	6.5-7.0	5.5-6.0	4.5-5.0
БСК <sub>5</sub> (max), мгO <sub>2</sub> /л	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5
Індекс сапробності	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6
Видове різноманіття (% від сучасного)	90-95	80-85	70-75
Рибопродуктивність (% від сучасної)	85-90	70-75	55-60

Песимістичний сценарій передбачає критичне погіршення екологічного стану річки. Зниження водності на 25-30% та підвищення температури води до 30-31°C призведе до порушення кисневого режиму та масового розвитку синьо-зелених водоростей. Прогнозується зникнення чутливих до забруднення видів та формування спрощених екосистем.

Найбільш вразливими до кліматичних змін виявляться малі притоки та верхів'я річки, де зниження водності може призвести до пересихання русла в меженний період. У середній та нижній течії прогнозується посилення процесів евтрофікації та накопичення донних відкладів.

На основі прогнозних оцінок розроблено рекомендації щодо адаптації системи моніторингу та управління водними ресурсами басейну річки Ворскла до очікуваних кліматичних змін [2, с. 107].

За результатами моделювання встановлено, що найбільш вразливими компонентами річкової екосистеми при зміні клімату будуть кисневий режим та популяції оксифільних видів гідробіонтів. При підвищенні температури води та зниженні водності річки прогнозується формування зон з критично низьким вмістом розчиненого кисню, особливо в придонних шарах на ділянках з уповільненою течією [2, с. 108].

Для літофільних видів риб очікується погіршення умов відтворення через замулення нерестовищ та зміну термінів нересту. Прогнозується зміщення строків нересту на більш ранні терміни, що може призвести до неспівпадіння з піком розвитку кормових організмів. Найбільш вразливими будуть популяції головня, пічкара та верховодки.

Серед представників зообентосу найбільші зміни прогноуються для личинок амфібіотичних комах. Підвищення температури води призведе до прискорення їх розвитку та зміни життєвих циклів. Очікується зменшення частки оксифільних видів веснянок та одноденок при збільшенні частки хірономід та олігохет.

При реалізації песимістичного сценарію прогнозується критичне погіршення умов існування двостулкових молюсків-фільтраторів. Зниження проточності та накопичення органічних речовин у донних відкладах може призвести до масової загибелі перлівниць та беззубок, що негативно вплине на процеси біологічного очищення води.

Прогнозується суттєва перебудова структури фітопланктонних угруповань. При підвищенні температури води очікується збільшення частки синьо-зелених водоростей та подовження періоду їх вегетації. Масовий розвиток *Microcystis aeruginosa* та *Aphanizomenon flos-aquae* може призвести до погіршення якості води та утворення токсичних метаболітів.

Зміна гідрологічного режиму річки вплине на розвиток вищої водної рослинності. На мілководних ділянках прогнозується інтенсивне заростання русла повітряно-водними рослинами, що призведе до погіршення водообміну та накопичення детриту. В той же час очікується деградація угруповань занурених макрофітів через погіршення світлового режиму.

Зниження водності річки призведе до концентрації забруднюючих речовин та зменшення розбавляючої здатності води. Особливо небезпечна ситуація може скластись у меженний період на ділянках річки нижче скидів стічних вод. Прогнозується збільшення концентрації важких металів у донних відкладах та їх накопичення в трофічних ланцюгах.

При помірному сценарії кліматичних змін очікується поступова адаптація водної екосистеми до нових умов. Прогнозується формування спрощених, але відносно стійких угруповань гідробіонтів з переважанням евритермних та стійких до забруднення видів. Можливе вселення нових видів-вселенців, зокрема з південних регіонів.

Для збереження екологічного стану річки в умовах кліматичних змін необхідне впровадження комплексу адаптаційних заходів, спрямованих на підтримку водності річки, покращення якості води та збереження біорізноманіття. Особливу увагу слід приділити охороні водоохоронних зон та відновленню природних нерестовищ риб.

Результати математичного моделювання вказують на критичні зміни термічного режиму річки при песимістичному сценарії розвитку подій. Підвищення температури води до 30-31°C спричинить зменшення розчинності кисню у воді до 4.5-5.0 мг/л, що становить загрозу для існування оксифільних видів гідробіонтів. Зниження концентрації розчиненого кисню нижче 5 мг/л призведе до пригнічення дихання риб та інших водних організмів. При таких умовах можливе масове розмноження синьо-зелених водоростей, здатних продукувати токсичні метаболіти. Підвищена температура води стимулюватиме прискорений розклад органічних речовин, що додатково збільшить споживання кисню. Зміна термічного режиму вплине також на швидкість біохімічних реакцій та інтенсивність метаболізму гідробіонтів.

Зменшення водності річки на 25-30% при песимістичному сценарії призведе до уповільнення течії та накопичення донних відкладів. Середня швидкість течії знизиться до 0.1-0.2 м/с, що недостатньо для підтримки природних процесів самоочищення води. Збільшення товщі мулистих відкладів створить умови для формування анаеробної зони біля дна. Зниження рівня води обмежить доступ риб до нерестовищ та місць нагулу молоді. Зменшення глибини русла призведе до промерзання мілководних ділянок взимку та перегріву влітку. Трансформація гідрологічного режиму спричинить зміну структури донних біоценозів.

Прогнозоване зменшення кількості опадів на 15% при песимістичному сценарії викличе скорочення поверхневого стоку та зниження рівня ґрунтових вод. Зменшення водності малих приток призведе до їх пересихання в меженний період. Скорочення площі водного дзеркала посилить процеси випаровування та підвищення мінералізації води. Зниження водності обмежить розбавлення забруднених стоків, що надходять до річки. Зменшення промивного режиму заплави порушить природні цикли надходження поживних речовин. Погіршення водообміну між руслом та заплавами водоймами призведе до їх деградації.

Моделювання біологічних процесів показує можливість суттєвої перебудови трофічних зв'язків при песимістичному сценарії. Випадання чутливих видів гідробіонтів призведе до спрощення харчових ланцюгів та зниження стійкості екосистеми. Заміщення реофільних видів риб на лімнофільні змінить характер використання кормової бази. Зменшення чисельності молюсків-фільтраторів знизить природну очисну здатність води. Порушення термінів розмноження різних груп гідробіонтів дестабілізує кормові взаємозв'язки. Трансформація видового складу макрофітів вплине на умови існування водних організмів.

Моделювання процесів евтрофікації при песимістичному сценарії вказує на можливість масового розвитку синьо-зелених водоростей. Подовження періоду їх вегетації до 120-150 діб створить передумови для формування стійкого "цвітіння" води. Накопичення токсичних метаболітів водоростей призведе до загибелі чутливих видів гідробіонтів. Розклад водоростевої біомаси викличе вторинне забруднення води та виснаження запасів кисню. Зміна світлового режиму через розвиток фітопланктону погіршить умови існування донної рослинності. Евтрофікація водойми стимулюватиме накопичення детриту та замулення русла.

При оптимістичному сценарії розвитку подій прогнозується помірне підвищення температури води до 26-27°C. Концентрація розчиненого кисню знизиться до 6.5-7.0 мг/л, що достатньо для нормального функціонування більшості гідробіонтів. Зменшення водності на 5-10% не призведе до критичних

змін гідрологічного режиму. Збереження основних видів-ефікаторів забезпечить стабільність трофічних зв'язків. Сезонний розвиток водоростей не досягне рівня "цвітіння" води. Природні механізми саморегуляції екосистеми зможуть компенсувати негативні впливи.

#### **4.2. Розробка рекомендацій щодо адаптації системи моніторингу річки до кліматичних змін**

На основі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо вдосконалення системи моніторингу річки Ворскла в умовах кліматичних змін. Запропоновано збільшити частоту спостережень у меженний період, коли відбувається погіршення якості води та виникає загроза заморних явищ. Додатково рекомендовано включити до програми моніторингу визначення вмісту розчиненого кисню у придонному шарі води [2, с. 109].

Для своєчасного виявлення процесів евтрофікації необхідно проводити щодакдні спостереження за розвитком фітопланктону в літній період. Особливу увагу слід приділяти контролю за розвитком синьо-зелених водоростей та визначенню концентрації хлорофілу. При масовому розвитку водоростей рекомендовано проводити аналіз води на наявність токсичних метаболітів.

Моніторинг стану іхтіофауни доцільно доповнити дослідженнями термінів нересту та ефективності відтворення основних промислових видів риби. Необхідно проводити оцінку стану нерестовищ та їх доступності для плідників в умовах зміни гідрологічного режиму річки. Особливу увагу слід приділяти спостереженням за популяціями видів-індикаторів якості води.

Для оцінки впливу кліматичних факторів на річкову екосистему запропоновано створити мережу автоматизованих постів спостереження, оснащених датчиками температури, розчиненого кисню та рівня води. Це дозволить отримувати оперативну інформацію про зміни основних гідрологічних та гідрохімічних параметрів води. Рекомендовано розширити перелік гідробіологічних показників, включивши до нього дослідження перифітону та бактеріопланктону. Стан перифітонних угруповань дозволяє

оцінити якість води за тривалий період, а показники розвитку бактеріопланктону характеризують інтенсивність процесів самоочищення води.

При проведенні гідрохімічних досліджень необхідно звернути особливу увагу на визначення форм знаходження важких металів у воді та донних відкладах. В умовах підвищення температури води може відбуватись зміна міграційної здатності металів та їх накопичення в трофічних ланцюгах. Моніторинг стану вищої водної рослинності повинен включати оцінку ступеня заростання русла та видового складу макрофітів. Необхідно відстежувати появу нових видів рослин, які можуть свідчити про зміну екологічних умов у річці. Особливу увагу слід приділяти контролю за розвитком повітряно-водних рослин на мілководдях.

Система спостережень за станом донних відкладів повинна включати оцінку їх накопичення в місцях уповільнення течії та аналіз гранулометричного складу. Важливо контролювати вміст органічних речовин у донних відкладах, оскільки їх розклад в умовах підвищеної температури може призводити до вторинного забруднення води. Рекомендовано проводити регулярну оцінку ефективності природоохоронних заходів та їх корегування відповідно до змін екологічного стану річки. Необхідно забезпечити оперативний обмін інформацією між суб'єктами моніторингу та координацію їх дій при виникненні несприятливих ситуацій.

Програму моніторингу доцільно доповнити спостереженнями за станом прибережних екосистем, які відіграють важливу роль у формуванні якості води. Рекомендовано проводити оцінку стану водоохоронних зон, контролювати розвиток ерозійних процесів та ефективність берегозахисних заходів [2, с. 110].

Систему гідробіологічного моніторингу необхідно адаптувати до сезонних змін у розвитку водних організмів. У весняний період основну увагу слід приділяти спостереженням за нерестом риб та розвитком молоді. Влітку важливо контролювати процеси евтрофікації та розвиток планктонних угруповань. Восени доцільно проводити оцінку запасів риб та їх підготовки до зимівлі. Для об'єктивної оцінки впливу кліматичних факторів рекомендовано створити базу

даних результатів спостережень з можливістю статистичного аналізу та виявлення довгострокових трендів. База даних повинна містити інформацію про гідрологічні, гідрохімічні та гідробіологічні показники, а також дані про метеорологічні умови в басейні річки.

При проведенні хімічного аналізу води необхідно враховувати добову динаміку показників. Відбір проб рекомендовано проводити в ранкові години, коли спостерігається мінімальна концентрація розчиненого кисню. Додатково слід визначати біохімічне споживання кисню та хімічне споживання кисню для оцінки вмісту органічних речовин.

Моніторинг стану популяцій промислових видів риби повинен включати оцінку їх вікової та статевий структури, темпів росту та умов живлення. Необхідно відстежувати зміни в поведінці риби, зокрема терміни та характер міграцій, які можуть змінюватись під впливом кліматичних факторів.

Спостереження за станом зообентосу рекомендовано проводити з урахуванням типу донних відкладів та швидкості течії. Особливу увагу слід приділяти індикаторним групам організмів, які чутливо реагують на зміну кисневого режиму та накопичення органічних речовин у ґрунті. Для оцінки процесів самоочищення води необхідно визначати активність ферментних систем бактеріопланктону та інтенсивність деструкції органічних речовин. Важливо контролювати співвідношення процесів продукції та деструкції органічної речовини, яке може порушуватись при зміні температурного режиму.

Система раннього попередження повинна включати контроль за розвитком потенційно небезпечних видів синьо-зелених водоростей, здатних продукувати токсини. При виявленні масового розвитку токсичних видів необхідно оперативно інформувати відповідні служби та вживати заходів щодо захисту населення.

В умовах кліматичних змін особливого значення набуває моніторинг малих приток річки Ворскла, які першими реагують на зміну гідрологічного режиму. Рекомендовано проводити щомісячні спостереження за водністю малих

річок та якістю води в них, особливо в меженний період. Це дозволить своєчасно виявляти критичні ситуації та вживати необхідних заходів [2, с. 111].

До програми моніторингу доцільно включити дослідження стану популяцій двостулкових моллюсків-фільтраторів, які відіграють важливу роль у процесах біологічного очищення води. Необхідно контролювати щільність поселень моллюсків, їх розмірно-вікову структуру та темпи росту. При виявленні масової загибелі моллюсків слід проводити додаткові дослідження для встановлення причин.

Моніторинг якості води повинен включати визначення специфічних забруднювачів, характерних для басейну річки. Особливу увагу слід приділяти контролю за вмістом пестицидів, які можуть надходити з поверхневим стоком із сільськогосподарських угідь. При підвищенні температури води може збільшуватись токсичність деяких забруднюючих речовин.

Важливим компонентом системи моніторингу є спостереження за станом прибережної рослинності, яка виконує бар'єрну функцію та перехоплює поверхневий стік. Необхідно контролювати видовий склад рослинності, її проективне покриття та здатність до самовідновлення після повеней чи посух.

Система спостережень повинна забезпечувати можливість оцінки ефективності водоохоронних заходів. Рекомендовано проводити порівняльний аналіз якості води вище та нижче ділянок, де здійснюються природоохоронні заходи. Це дозволить оптимізувати витрати на підтримку екологічного стану річки.

Для підвищення оперативності реагування на зміни екологічної ситуації доцільно створити систему громадського моніторингу із залученням місцевих жителів та екологічних організацій. Це дозволить отримувати додаткову інформацію про стан річки та своєчасно виявляти порушення природоохоронного законодавства.

Особливу увагу слід приділяти моніторингу джерел забруднення річки, зокрема контролю за скидами стічних вод. В умовах зниження водності річки

необхідно переглянути нормативи гранично допустимих скидів з урахуванням зменшення розбавляючої здатності води.

#### **4.3. Пропозиції щодо впровадження природоохоронних заходів з урахуванням кліматичного фактору**

Впровадження природоохоронних заходів для річки Ворскла в умовах кліматичних змін потребує комплексного підходу з урахуванням взаємозв'язків між різними компонентами річкової екосистеми. Першочерговим завданням є відновлення та підтримка природного гідрологічного режиму річки шляхом оптимізації роботи гідротехнічних споруд, особливо в меженний період. Необхідно забезпечити мінімальний екологічний стік, достатній для збереження водних екосистем та підтримки процесів самоочищення. Важливим аспектом є впровадження автоматизованої системи управління греблями та шлюзами-регуляторами, яка дозволить оперативно реагувати на зміни водності річки та підтримувати оптимальний рівневий режим. Особливу увагу слід приділити контролю за водоспоживанням у басейні річки, впровадженню водозберігаючих технологій та обмеженню забору води в критичні періоди [2, с. 112].

Для зменшення надходження забруднюючих речовин з поверхневим стоком необхідно провести комплекс заходів щодо облаштування водоохоронних зон. Важливим завданням є відновлення природної рослинності вздовж берегів річки, яка виконує функцію біологічного фільтра та перехоплює поверхневий стік з водозбірної території. У межах водоохоронних зон необхідно контролювати дотримання режиму господарської діяльності, обмежити використання добрив та пестицидів на прилеглих сільськогосподарських угіддях. Слід провести залуження прибережних схилів для запобігання ерозії ґрунтів та змиву забруднюючих речовин у річку. Особливу увагу потрібно приділити охороні та відновленню заплавних лук і боліт, які відіграють важливу роль у регулюванні водного режиму та очищенні поверхневого стоку. Необхідно також забезпечити контроль за розміщенням об'єктів, які можуть стати джерелами забруднення води, у межах водоохоронних зон.

Захист водних біоресурсів потребує створення мережі природоохоронних територій у басейні річки Ворскла. Необхідно визначити та взяти під охорону ключові ділянки річки, які мають особливе значення для збереження біорізноманіття - місця нересту риби, зимувальні ями, ділянки з рідкісними видами водних організмів. Важливим завданням є відновлення природних нерестовищ шляхом розчищення замулених ділянок, створення штучних нерестових субстратів та забезпечення вільної міграції риби до місць нересту. Слід також впровадити систему біомеліоративних заходів, спрямованих на покращення умов існування водних організмів - встановлення штучних рифів, створення схованок для молоді риби, регулювання чисельності рослиноїдних видів риби. Особливу увагу необхідно приділити охороні популяцій видів-індикаторів чистої води, які першими реагують на погіршення екологічної ситуації.

Підвищення самоочисної здатності річки потребує впровадження комплексу заходів щодо регулювання розвитку водної рослинності. Необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між зарослими та відкритими ділянками русла, яке сприяє активізації процесів самоочищення води. У місцях надмірного заростання русла доцільно проводити вибіркоче викошування водної рослинності з урахуванням її ролі в екосистемі. Важливим завданням є контроль за розвитком синьо-зелених водоростей, які можуть викликати "цвітіння" води при підвищенні температури. Слід впровадити систему біологічної меліорації з використанням рослиноїдних видів риби для регулювання розвитку фітопланктону. Необхідно також забезпечити своєчасне видалення відмерлої водної рослинності для запобігання вторинному забрудненню води продуктами її розкладу.

Для покращення кисневого режиму річки в умовах підвищення температури води необхідно впровадити систему додаткової аерації на проблемних ділянках. Важливим завданням є створення перекатів та порогів, які сприяють насиченню води киснем за рахунок турбулентного перемішування. У місцях скидання стічних вод доцільно встановити системи примусової аерації

для запобігання виникненню заморних явищ. Слід також забезпечити можливість оперативного регулювання водного режиму для підтримки необхідної швидкості течії та запобігання застійним явищам. Особливу увагу необхідно приділити контролю за скидами теплих вод, які можуть додатково підвищувати температуру води та погіршувати кисневий режим.

Адаптація системи управління водними ресурсами до кліматичних змін потребує вдосконалення нормативно-правової бази та економічних механізмів природокористування. Необхідно розробити та впровадити систему стимулів для водокористувачів, які впроваджують водозберігаючі технології та здійснюють заходи щодо охорони водних ресурсів. Важливим завданням є створення басейнової ради річки Ворскла для координації дій всіх зацікавлених сторін у сфері охорони та використання водних ресурсів. Слід також забезпечити належне фінансування природоохоронних заходів за рахунок різних джерел - державного та місцевих бюджетів, екологічних фондів, коштів водокористувачів. Необхідно впровадити систему екологічного страхування для компенсації збитків, завданих водним екосистемам внаслідок надзвичайних ситуацій.

Для підвищення ефективності природоохоронних заходів необхідно забезпечити активну участь місцевих громад та екологічних організацій. Важливим завданням є проведення просвітницької роботи серед населення щодо цінності водних ресурсів та необхідності їх збереження в умовах кліматичних змін. Слід організувати регулярні акції з очищення берегів річки від сміття, відновлення прибережної рослинності та створення рекреаційних зон з мінімальним впливом на водні екосистеми. Необхідно також залучати волонтерів до проведення моніторингу стану річки та виявлення порушень природоохоронного законодавства. Особливу увагу слід приділити роботі з молоддю, формуванню екологічної свідомості та відповідального ставлення до водних ресурсів [2, с. 113].

Розвиток екологічного туризму в басейні річки Ворскла повинен здійснюватись з урахуванням можливого впливу на водні екосистеми. Необхідно

розробити та впровадити систему регулювання рекреаційного навантаження на прибережні території, визначити допустиму кількість відпочивальників та місця для облаштування пляжів. Важливим завданням є створення екологічних стежок та інформаційних центрів для підвищення обізнаності туристів про цінність річкових екосистем. Слід також забезпечити належне облаштування місць відпочинку - встановлення контейнерів для сміття, туалетів, майданчиків для наметів. Особливу увагу необхідно приділити контролю за використанням маломірних суден та обмеженню їх руху в місцях нересту риби та гніздування птахів.

Впровадження сучасних технологій очищення стічних вод є необхідною умовою збереження екологічного стану річки в умовах кліматичних змін. Необхідно провести модернізацію існуючих очисних споруд з урахуванням можливого зменшення розбавляючої здатності річки. Важливим завданням є впровадження систем глибокого очищення стічних вод від біогенних елементів, які сприяють евтрофікації водойм. Слід також забезпечити ефективну роботу локальних очисних споруд на підприємствах та контроль за якістю очищення стічних вод. Особливу увагу необхідно приділити впровадженню технологій повторного використання очищених стічних вод для технічних потреб.

Відновлення гідравлічного зв'язку між річкою та заплавними водоймами потребує проведення комплексу гідротехнічних робіт. Необхідно відновити природні протоки та єрики, які забезпечують водообмін між руслом та заплавою під час повеней. Важливим завданням є розчищення та поглиблення заплавних озер, які служать природними регуляторами водного режиму та місцями нересту риби. Слід також забезпечити можливість періодичного затоплення заплавних лук для підтримки їх природного стану. Особливу увагу необхідно приділити збереженню та відновленню заплавних боліт, які виконують функцію природних фільтрів [2, с. 114].

Захист берегів від ерозії повинен здійснюватись переважно біологічними методами з використанням рослинності. Необхідно провести укріплення берегів шляхом висадки верби, вільхи та інших деревно-чагарникових порід з

розвиненою кореневою системою. Важливим завданням є створення багаторушних берегозахисних насаджень, які забезпечують стійкість берегів та створюють сприятливі умови для існування водних та навколоводних організмів. Слід також впровадити систему протиерозійних заходів на схилах долини для зменшення надходження продуктів ерозії в річку. Особливу увагу необхідно приділити захисту берегів від руйнування в місцях активного розвитку бічної ерозії.

Створення системи раннього попередження про можливі несприятливі зміни екологічного стану річки потребує впровадження сучасних методів прогнозування. Необхідно розробити математичні моделі, які дозволяють передбачати реакцію річкової екосистеми на зміну кліматичних факторів. Важливим завданням є створення мережі автоматизованих постів контролю за основними показниками якості води. Слід також забезпечити оперативний обмін інформацією між всіма суб'єктами моніторингу та координацію їх дій при виникненні критичних ситуацій. Особливу увагу необхідно приділити розробці планів реагування на різні сценарії погіршення екологічного стану річки.

Інтеграція природоохоронних заходів у регіональні програми розвитку дозволить забезпечити їх системну реалізацію та фінансування. Необхідно розробити довгострокову стратегію збереження екосистеми річки Ворскла з урахуванням прогнозованих кліматичних змін. Важливим завданням є узгодження природоохоронних заходів з планами розвитку сільського господарства, промисловості та житлово-комунального господарства в басейні річки. Слід також забезпечити міжрегіональну координацію природоохоронної діяльності, оскільки річка протікає територією декількох областей. Особливу увагу необхідно приділити створенню економічних механізмів стимулювання природоохоронної діяльності.

Розроблена система гідротехнічних заходів передбачає регулювання водного режиму річки Ворскла для підтримки оптимального рівня води. Будівництво порогів та перекатів на проблемних ділянках забезпечить аерацію води та підвищення концентрації розчиненого кисню. Реконструкція існуючих

гребель дозволить оптимізувати попуски води в меженний період. Спорудження обвідних каналів біля гребель створить умови для вільної міграції риб. Розчищення замулених ділянок русла покращить гідравлічні характеристики потоку. Встановлення регуляторів стоку на малих притоках забезпечить підтримку водності головної річки.

Проведення берегоукріплювальних робіт біологічними методами зменшить надходження продуктів ерозії в річку. Висадка верби, вільхи та інших деревно-чагарникових порід з розвиненою кореневою системою стабілізує берегові схили. Створення прибережних захисних смуг шириною 25-50 метрів перехопить поверхневий стік з водозбірної території. Залуження крутих схилів запобігатиме розвитку яружної ерозії. Відновлення природної рослинності на деградованих ділянках заплави поліпшить умови формування якості води. Регулювання випасу худоби в прибережній зоні зменшить пошкодження рослинного покриву.

Розроблений комплекс заходів з відновлення природних нерестовищ включає розчищення традиційних місць нересту фітофільних видів риб. Створення штучних нерестових ділянок шляхом відсіпки гравію забезпечить умови для розмноження літофільних видів. Встановлення штучних нерестових субстратів компенсує нестачу природних. Поглиблення зимувальних ям створить сприятливі умови для зимівлі риб. Регулювання чисельності хижих видів риб оптимізує структуру іхтіоценозу. Заборона промислового лову в період нересту зменшить антропогенне навантаження на популяції риб.

Біологічна меліорація передбачає вселення рослиноїдних видів риб для регулювання розвитку водної рослинності. Зариблення річки молоддю аборигенних видів риб відновить природну структуру іхтіофауни. Створення нерестово-вирощувальних господарств забезпечить відтворення цінних видів риб. Регулярне викошування надводної рослинності запобігатиме надмірному заростанню русла. Видалення нитчастих водоростей покращить кисневий режим води. Збереження оптимальної щільності популяцій моллюсків-фільтраторів підтримує процеси самоочищення води.

Впровадження системи очищення поверхневого стоку з урбанізованих територій зменшить надходження забруднюючих речовин. Будівництво локальних очисних споруд на підприємствах знизить рівень промислового забруднення. Реконструкція міських каналізаційних мереж запобігатиме аварійним скидам стічних вод. Створення біоінженерних споруд для очищення дренажних вод зменшить винос біогенних елементів з сільськогосподарських угідь. Встановлення сміттєзатримуючих бар'єрів перехопить плаваюче сміття. Регулярне очищення прибережної зони від побутових відходів поліпшить санітарний стан річки.

Розробка та впровадження економічних механізмів стимулювання природоохоронної діяльності забезпечить фінансування відновлювальних робіт. Запровадження диференційованої плати за водокористування стимулюватиме економію водних ресурсів. Штрафні санкції за порушення природоохоронного законодавства компенсують збитки, завдані річковій екосистемі. Створення цільового фонду охорони водних ресурсів акумулює кошти для реалізації природоохоронних проектів. Залучення інвестицій у розвиток екологічного туризму створить альтернативні джерела доходу місцевих громад. Організація громадського контролю за станом річки підвищить ефективність природоохоронних заходів.

Організація системи екологічного моніторингу басейну річки забезпечить контроль ефективності природоохоронних заходів. Встановлення автоматизованих постів контролю надасть оперативну інформацію про зміни основних показників якості води. Створення мережі гідрологічних постів дозволить відстежувати водність річки та її приток. Регулярні гідробіологічні дослідження покажуть реакцію водних організмів на покращення умов існування. Проведення щосезонної оцінки стану нерестовищ визначить ефективність відновлювальних робіт. Організація метеорологічних спостережень допоможе прогнозувати вплив кліматичних факторів.

Впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами оптимізує використання річки різними водокористувачами. Створення

басейнової ради координуватиме дії всіх зацікавлених сторін у сфері охорони водних ресурсів. Розробка правил експлуатації водосховищ забезпечить раціональне регулювання стоку. Узгодження лімітів водоспоживання збалансує потреби різних галузей економіки. Планування водоохоронних заходів врахує інтереси всіх суб'єктів водокористування. Міжрегіональна співпраця дозволить комплексно вирішувати екологічні проблеми річки.

Адаптація сільськогосподарської діяльності у водоохоронних зонах зменшить антропогенне навантаження на річку. Перехід на ґрунтозахисні технології обробітку землі знизить ерозію ґрунтів. Оптимізація структури посівних площ зменшить використання добрив та пестицидів. Облаштування водопоїв для худоби запобігатиме руйнуванню берегів. Створення лісо-лучних поясів навколо орних земель перехопить поверхневий стік. Розвиток органічного землеробства знизить хімічне забруднення водних об'єктів.

Відновлення природних заплавних комплексів підвищить екологічну стійкість річкової екосистеми. Ренатуралізація осушених боліт відновить їх водорегулюючу функцію. Створення екологічних коридорів забезпечить міграцію водних та навколоводних видів. Відновлення заплавних лук збільшить біорізноманіття прибережних екосистем. Реконструкція природних водойм покращить умови існування водних організмів. Охорона рідкісних видів рослин і тварин збереже генофонд річкової біоти.

Розвиток рекреаційної інфраструктури створить умови для регульованого відпочинку населення. Облаштування екологічних стежок підвищить обізнаність відвідувачів про цінність річкових екосистем. Створення оглядових майданчиків зменшить рекреаційне навантаження на вразливі ділянки. Організація місць для аматорського рибальства впорядкує використання рибних ресурсів. Будівництво причалів для маломірних суден запобігатиме пошкодженню берегів. Встановлення інформаційних стендів сприятиме екологічній просвіті населення.

Залучення місцевих громад до охорони річки підвищить ефективність природоохоронних заходів. Організація екологічних акцій згуртує населення навколо проблем збереження водних ресурсів. Проведення освітніх заходів у

школах сформує екологічну свідомість молоді. Створення громадських інспекцій посилить контроль за дотриманням природоохоронного законодавства. Розвиток екологічного волонтерства збільшить трудові ресурси для відновлювальних робіт. Підтримка екологічних ініціатив активізує участь населення в охороні річки.

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень встановлено значний вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла. Аналіз даних спостережень за період 1993-2023 рр. показав стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря в басейні річки на  $2.3^{\circ}\text{C}$  та зменшення річної кількості опадів на 16.6 мм. Найбільші зміни спостерігаються у зимовий період, що проявляється у підвищенні температури повітря та зменшенні кількості опадів.

Розроблена математична модель впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки дозволила встановити кількісні залежності між кліматичними параметрами та водністю. Підвищення температури повітря на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до зменшення середньорічної витрати води на 5-7%, а зменшення річної кількості опадів на 10% викликає зниження водності річки на 12-15%. Моделювання показало високу чутливість річкової екосистеми до зміни температури води.

На основі експериментальних досліджень виявлено значний вплив температури води на біологічні процеси. При зниженні температури води від  $13^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  спостерігається зменшення чисельності фітопланктону у 9.3 рази та біомаси зоопланктону у 5.6 рази. Встановлено сильну обернену залежність між температурою повітря та концентрацією розчиненого кисню, що вказує на погіршення кисневого режиму при підвищенні температури води.

Розроблений прогноз змін екологічного стану річки до 2030 року показав можливість критичного погіршення ситуації при реалізації песимістичного сценарію кліматичних змін. Прогнозується зниження водності на 25-30% та підвищення температури води до  $30-31^{\circ}\text{C}$ , що може призвести до порушення кисневого режиму та масового розвитку синьо-зелених водоростей.

На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо адаптації системи моніторингу річки та запропоновано комплекс природоохоронних заходів. Вони включають збільшення частоти спостережень у меженний період, контроль за розвитком процесів евтрофікації, оцінку стану популяцій індикаторних видів гідробіонтів. Впровадження цих заходів дозволить зменшити

негативний вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла та зберегти її природні ресурси для майбутніх поколінь.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белобородова М. В. Управління екологічними ризиками в стратегії розвитку промислових підприємств. Економіка і організація управління. 2020. С. 39-48.
2. ВДОВИЧЕНКО В., СТЕПОВА О., МОРОЗОВА Д., БЕЛОКОНЬ К. Визначення впливу кліматичних умов на екологічний стан річки Ворскла на території Полтавської області. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. 2024. С. 98.
3. Голуб Р. А. Вплив кліматичних та антропогенних чинників на екологічний стан річки Топірець. Всеукраїнська Інтернет-конференція «Глобальні та локальні екологічні проблеми. Шляхи їх вирішення». 2019. С. 144.
4. Джумеля Е. А. Екологічна безпека гірничо-хімічного підприємства на стадії ліквідації: дис. ... д-ра філософії: 183. Львів, 2020. 201 с.
5. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. АН України. Ін-т ботаніки імені М.Г. Холодного. Київ: Наукова думка, 1994. 280 с.
6. Дубина Д.В. Рослини наших водойм (атлас-довідник). Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 134 с.
7. Клименко М.О., Гроховська Ю.Р. Оцінка екологічного стану водних екосистем річок басейну Прип'яті за вищими водними рослинами. Рівне: НУВГП, 2005. 194 с.
8. Коробкова Г. В. Екологічне нормування якості поверхневих вод на прикладі басейну річки Сіверський Донець (в межах Харківської області): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11. Харків, 2018. 22 с.
9. Крайнюков О.М., Некос А.Н. Моніторинг довкілля (Моніторинг нафтогазоносних територій). Харків: Фоліо, 2015. 191 с.
10. Лобода Н. С., Пилип'юк В. В. Зміни клімату та їх можливі наслідки у формуванні якості вод (на прикладі річок Псел та Ворскла). Вісник Одеського державного екологічного університету. 2017. №22. С. 69-79.
11. Лобода Н., Козлов М. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період

- 2021-2050 роки. Український гідрометеорологічний журнал. 2020. №25. С. 93–104.
12. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водоресурсні, водогосподарські та гідроекологічні фактори національної безпеки. Екологія і ресурси. Київ: ЗАТ «Ей-Бі-Сі», 2001. С. 39–51.
13. Пономаренко Р.В. Науково-теоретичні основи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання регіону з урахуванням основних принципів басейнового управління водними ресурсами: монографія. Харків: Планета-Прінт, 2020. 112 с.
14. Ромащенко М. та ін. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. Меліорація і водне господарство. 2020. №1. С. 5–22.
15. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України: повний звіт за результатами проекту. Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 68 с.
16. Стан підземних вод України, щорічник. Київ: Державна служба геології та надр України, Державний інформаційний геологічний фонд України, 2020. 127 с.
17. Ткаченко Т. М., Жукова О. Г. Екологія: конспект лекцій: для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Київ: КНУБА, 2023. 84 с.
18. Хільчевський В. К. Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. №1(59). С.6–16.
19. Цьось О.О., Музиченко О.С., Боярин М.В. Методика оцінки екологічного стану поверхневих вод приток верхів'я річки Прип'ять за макрофітами. Луцьк: Вежа, 2022. 26 с.
20. Allan J. D., Castillo M. M., Capps K. A. Stream ecology: structure and function of running waters. Springer Nature, 2021.

21. Bezsonov Y., Mitryasova O., Smyrnov V., Smyrnova S. Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. №4(10). P. 20-28.
22. Ciecierska H., Dynowska M. *Biologiczne metody oceny stanu srodowiska. Tom 2. Ekosystemy wodne. Podrecznik metodyczny*. Olsztyn. 2013. 312 P.
23. Didovets I. et al. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2019. №22.
24. Hauer F. R., Lamberti G. *Methods in stream ecology: Volume 1: Ecosystem structure*. Academic Press, 2017.
25. Haury J., Peltre M-C., Tremolieres M., Barde J., Thiebaut G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., et al. A new method to assess water trophy and organic pollution – The Macrophytes Biological Index for Rivers (IBMR): Its application to different types of river and position. *Hydrobiologia*. 2006. 570. P. 153-158.
26. Hossain A., Nakamichi S., Habibullah-Al-Mamun M., Tani K., Masunaga S., Matsuda H. Occurrence and ecological risk of pharmaceuticals in river surface water of Bangladesh. *Environmental research*. 2018. №165. P. 258-266.
27. Kondolf G. M., Pinto P. J. The social connectivity of urban rivers. *Geomorphology*. 2017. №277. P. 182-196.
28. Kuriqi A., Pinheiro A. N., Sordo-Ward A., Bejarano M. D., Garrote L. Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. №142.
29. Lange S. Bias correction of surface downwelling longwave and shortwave radiation for the EWEMBI dataset. *Earth System Dynamics*. 2018. №2(9). C. 627–645.
30. Lange S. Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and Bias-corrected for ISIMIP (EWEMBI). GFZ Data Services. 2019.

31. Li R., Liang J., Gong Z., Zhang N., Duan H. Occurrence, spatial distribution, historical trend and ecological risk of phthalate esters in the Jiulong River, Southeast China. *Science of the Total Environment*. 2017. №580. P. 388-397.
32. Loboda N. S., Bozhok Y. V. Water resources of Ukraine in the XXI century under climate change scenarios (RCP4.5 AND RCP8.5). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2017. №17. P. 114–122.
33. O'Donnell E. L., Talbot-Jones J. Creating legal rights for rivers. *Ecology and Society*. 2018. №23(1).
34. Raunkiaer C. *Plant life forms* / trans. H. Gilbert-Carter. Oxford: Clarendon press, 1934. 104 p.
35. Stokal V. Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2021. №18(1). P. 67-87.
36. Szoszkiewicz K., Jusik S., Lewin I., Czerniawska-Kusza I., Kupiec J. M., Szostak M. Macrophyte and macroinvertebrate patterns in unimpacted mountain river of two European ecoregion. *Hydrobiologia*. 2018. №805. P. 327-342.
37. Szoszkiewicz K., Jusik S., Pietruczuk K., Gebler D. The Macrophyte Index for Rivers (MIR) as an Advantageous Approach to Running Water Assessment in Local Geographical Conditions. *Water*. 2020. №12. P. 108.
38. The International Plant Names Index. 2021. URL: <https://www.ipni.org/>
39. The United Nations World Water Development Report 2021. VALUING WATER. UN, FAO, UNDP, UNIDO, Unesco, 2021. 206 p.
40. Vu C. T., Lin C., Shern C. C., Yeh G., Tran H. T. Contamination, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. *Ecological indicators*. 2017. №82. P. 32-42.
41. Wohl E. Connectivity in rivers. *Progress in Physical Geography*. 2017. №41(3). P. 345-362.
42. Wohl E., Kramer N., Ruiz-Villanueva V., Scott D. N., Comiti F., Gurnell A. M., Fausch K. D. The natural wood regime in rivers. *BioScience*. 2019. №69(4). P. 259-273.

43. Yakovliev Y., Chumachenko S. Ecological Threats in Donbas, Ukraine. Centre for Humanitarian Dialogue. Geneva. 2017. №60.

*Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут нафти і газу  
Кафедра прикладної екології та природокористування*



*Графічна частина  
до магістерської роботи  
на тему: «Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла»*

*Виконала: студентка групи 601-МТЗ  
Спеціальність: 183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»  
Дудина К.В.  
Керівник: д.т.н., проф. Степова О. В.*

*Полтава – 2025*

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ВОРСКЛА

**Актуальність роботи:** В умовах сучасних кліматичних змін дослідження їх впливу на екологічний стан річок України набуває особливо значення. Річка Ворскла є важливою водною артерією Полтавського регіону, що відіграє значну роль у забезпеченні водними ресурсами населення та галузей економіки. Зміни клімату можуть суттєво впливати на гідрологічний режим річки та якість води, що потребує детального вивчення для розробки адаптаційних заходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за тематикою "Екологічна оцінка та прогнозування стану водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження".

**Мета роботи** – оцінити вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла та розробити рекомендації щодо адаптації системи моніторингу до нових умов.

**Задання дослідження:**

1. Проаналізувати динаміку основних кліматичних показників в басейні річки за останні 30 років.
2. Дослідити зміни гідрологічного режиму річки під впливом кліматичних факторів.
3. Оцінити вплив зміни температури води на гідрохімічні показники.
4. Визначити характер та інтенсивність антропогенного навантаження на річкову екосистему.
5. Проаналізувати сезонні зміни якісних характеристик води.
6. Розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу кліматичних змін.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування екологічного стану річки Ворскла під впливом кліматичних факторів.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни гідрологічних та гідрохімічних характеристик річки Ворскла в умовах кліматичних змін.

**Методи дослідження.** В роботі використані методи статистичного аналізу даних спостережень, математичного моделювання гідрологічних процесів, гідрохімічних та гідробіологічних досліджень води.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у встановленні кількісних залежностей між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки, розробці математичної моделі впливу температури на гідрохімічні показники, визначенні критичних значень кліматичних параметрів для річкової екосистеми.

**Практичне значення.** Результати досліджень можуть бути використані при розробці природоохоронних заходів та адаптації системи моніторингу річки до кліматичних змін.

						601-МТЗ 11393350 МР		
						Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла		
Ім'я	Кільк.	Лист	№роб.	Подп.	Дата	Стадія	Лист	Листов
Розробила			Дудина К.В.			Характеристика роботи	МР	2
Керівник			Степова О.В.					
						Актуальність, мета,зодч, об'єкт, предмет дослідження		
						Науковий університет імені Юрія Кондратюка		
						Кафедра прикладної екології та природокористування		
						Зад. кафедри		
						Ільши О.Е.		

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження кліматичні змін водного режиму річок України займалися такі вчені: *Ромащенко, Хільчевський, Strokal, Didovets et al., Allan, Castillo та Capps*. Отже, аналіз сучасних досліджень демонструє значний вплив кліматичних змін на гідрологічний режим, якість води та біорізноманіття річкових екосистем. Це вимагає розробки та впровадження адаптаційних заходів для збереження водних ресурсів в умовах глобальних кліматичних змін.

Дослідженням підвищення температури води займалися: *Li, Kurigi, Wohl, Hossain, Vu, O'Donnell та Talbot-Jones*. Таким чином, результати сучасних досліджень свідчать про комплексний вплив кліматичних змін на всі компоненти річкових екосистем. Особливу увагу слід приділити вивченню механізмів адаптації водних організмів до нових умов існування та розробці заходів щодо підтримки екологічного благополуччя річок.

*Yakovliev та Chumachenko* вивчали екологічні загрози для водних екосистем в умовах військових дії та кліматичних змін. Результати досліджень підкреслюють необхідність розробки спеціальних протоколів реагування на комплексні загрози для водних екосистем

*Крайнюков О.М. та Некос А.Н.* розробили комплексну систему моніторингу водних об'єктів, що враховує вплив кліматичних факторів.

*Пономаренко Р.В.* дослідив шляхи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання в умовах змін клімату.

Важливий внесок у розвиток методів біоіндикації зробили *Дідух Я.П. та Плюта П.Г.*, які розробили систему фітоіндикації екологічних факторів.

*Дубина Д.В.* провів детальне дослідження вищої водної рослинності та створив атлас-довідник рослин водоїм України. Дослідники встановили кореляційні зв'язки між показниками розвитку водної рослинності та змінами температурного та гідрологічного режимів річок.

*Ciecierska H. та Dypowska M.* розробили комплекс біологічних методів оцінки стану водного середовища, які дозволяють виявляти ранні ознаки трансформації водних екосистем під впливом кліматичних змін.

*Ткаченко Т.М. та Жукова О.Г.* узагальнили сучасні підходи до оцінки екологічного стану водних об'єктів та розробили рекомендації щодо організації спостережень в умовах кліматичних змін. Особливу увагу автори приділили необхідності комплексного підходу до оцінки стану водних екосистем з урахуванням взаємозв'язків між різними компонентами

							601-МТЗ 11393350 МР		
							Аналіз впливу змін кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла		
Ім'я	Кільк.	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Стандія	Лист	Листов	
Розробила	Дубина К. В.					МР	3	11	
Керівник	Степова О. В.					Аналіз відомих досліджень			
							Аналіз відомих досліджень		
							НУПТ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування		
							Зав. кафедри Ільїн О. Е.		

# СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ

*Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла*

*Аналіз впливу кліматичних змін на екологічний стан річок*

*Аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки Ворскла*

*Аналіз сучасних досліджень впливу кліматичних факторів на водні екосистеми*

*гідрологічний*

*екологічний*

*біологічний*

*Аналіз методик оцінювання екологічного стану річок*

*Методика проведення експериментальних досліджень*

*Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів*

*Методика проведення експериментальних досліджень*

*Розробка рекомендацій щодо адаптації системи моніторингу річки до кліматичних змін*

*Пропозиції щодо впровадження природоохоронних заходів з урахуванням кліматичного фактору*

						601-МТЗ 11393350 МР		
						Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла		
Изм.	Копія	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Структурно-логічна схема досліджень	Стандія	Лист
Разраб/ила	Дудина К. В.					МР	4	11
Керівник	Степова О. В.					Структурно-логічна схема досліджень	НУПТ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування	
Зав. кафедрою	Ілляш О. Е.							

# АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ОСНОВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У БАСЕЙНІ РІЧКИ ВОРСКЛА

Середньорічні температури повітря в басейні річки Ворскла (1993–2023 рр.)

Роки	Середньорічна температура, °C	Максимальна температура, °C	Мінімальна температура, °C	Амплітуда коливань, °C
1993–1998	7.2	31.5	-23.3	54.8
1999–2003	7.8	32.1	-22.8	54.9
2004–2008	8.3	32.8	-21.5	54.3
2009–2013	8.7	33.2	-20.8	54.0
2014–2018	9.1	33.9	-20.2	54.1
2019–2023	9.5	34.3	-19.5	53.8

Розподіл опадів у басейні річки Ворскла (1993–2023 рр.)

Місяць	Середня кількість опадів, мм			Зміна за період, %
	1993–2003	2004–2013	2014–2023	
Січень	43.3	41.8	39.2	-9.5
Лютий	38.8	37.4	35.9	-7.5
Березень	34.6	33.9	32.5	-6.1
Квітень	40.2	41.5	42.8	+6.5
Травень	51.8	53.3	54.9	+6.0
Червень	70.5	71.8	73.2	+3.8
Липень	75.2	74.4	73.8	-1.9
Серпень	57.4	55.9	54.3	-5.4
Вересень	44.6	43.8	42.5	-4.7
Жовтень	37.9	36.5	35.2	-7.1
Листопад	41.3	39.8	38.4	-7.0
Грудень	47.5	45.2	43.8	-7.8
За рік	583.1	575.3	566.5	-2.8

601-МТЗ 11393350 МР					
Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла					
Ім'я	Кількість	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Розробила	Дудина К. В.				
Керівник	Степова О. В.				
Аналіз динаміки основних кліматичних показників у басейні річки Ворскла (середньорічні температури повітря в басейні річки Ворскла (1993–2023 рр.) Розподіл опадів у басейні річки Ворскла (1993–2023 рр.)				Стандія	Лист
				МР	5
				Листопад	11
Зад. кафедри				НУЛПТ ім. Юрія Кондратюка	
Ільши О. Е.				Кафедра прикладної екології та природокористування	

# РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ РІЧКИ

## Основні рівняння математичної моделі гідрологічного режиму

Параметр	Рівняння	Умовні позначення
Витрата води	$Q = f(P, T, E)$	$Q$ – витрата води, м <sup>3</sup> /с; $P$ – кількість опадів, мм; $T$ – температура повітря, °С; $E$ – випаровування, мм
Рівень води	$H = g(Q, B, n)$	$H$ – рівень води, м; $B$ – ширина русла, м; $n$ – шорсткість русла
Швидкість течії	$V = Q/F$	$V$ – швидкість течії, м/с; $F$ – площа живого перерізу, м <sup>2</sup>

## Динаміка середньорічних витрат води за період 1993–2023 рр.

Рік	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Кількість опадів, мм	Температура повітря, °С
1993	36.5	583	7.2
1998	35.8	578	7.5
2003	34.2	565	7.9
2008	33.1	552	8.4
2013	31.5	538	8.9
2018	29.8	525	9.3
2023	28.2	512	9.7

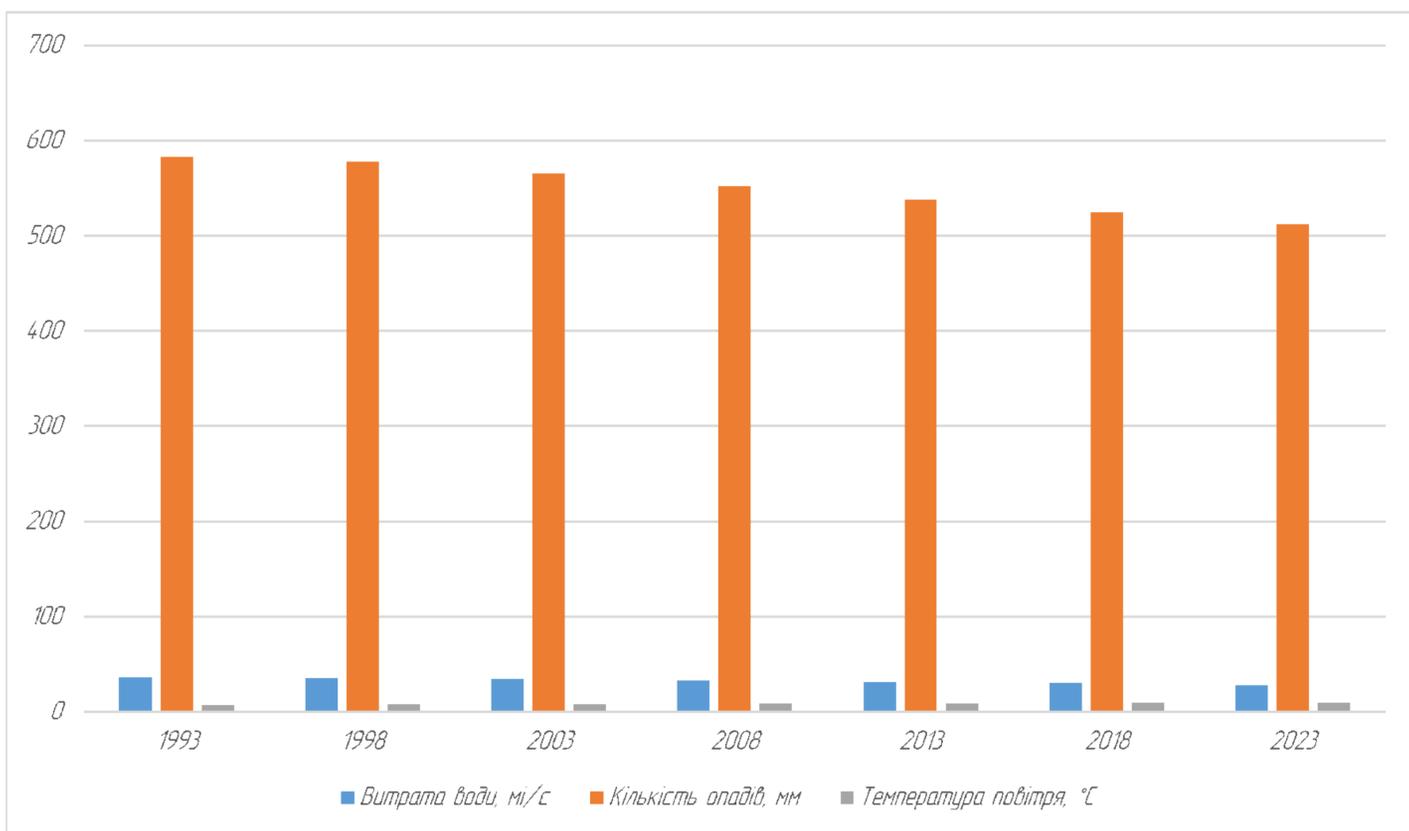
## Параметри формування льодового покриву річки Ворскла

Період	Тривалість льодоставу, днів	Товщина льоду, см	Сума від'ємних температур, °С
1993–2003	95–110	35–45	-380...-420
2004–2013	85–95	30–40	-340...-380
2014–2023	75–85	25–35	-300...-340

## Розрахункові характеристики внутрішньорічного розподілу стоку

Сезон	Частка в річному стоці, %	Середня витрата води, м <sup>3</sup> /с	Об'єм стоку, млн м <sup>3</sup>
Весна (III–V)	45–50	150–180	350–420
Літо (VI–VIII)	20–25	35–45	150–180
Осінь (IX–XI)	15–20	40–50	120–150
Зима (XII–II)	15–20	35–45	130–160

## Динаміка середньорічних витрат води за період 1993–2023 рр.



## Розрахункові параметри моделі для різних гідрологічних фаз

Гідрологічна фаза	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Рівень води, м	Швидкість течії, м/с
Весняна повінь	180–250	2.5–3.8	0.8–1.2
Літня межень	25–40	1.2–1.8	0.2–0.4
Дощові паводки	90–140	2.0–2.8	0.5–0.7
Зимова межень	30–45	1.4–2.0	0.3–0.5

# МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧКИ ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Показники розвитку фітопланктону при різних температурах

Температура води, °C	Біомаса, г/мі	Первинна продукція, гO <sub>2</sub> /мі·доба	Хлорофіл "а", мкг/л
10	2.5	1.2	8.5
15	4.8	2.5	15.2
20	8.2	4.8	25.8
25	12.5	7.2	38.4
30	18.4	10.5	52.6

Сезонні зміни показників якості води

Сезон	БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	ХСК, мгO <sub>2</sub> /л	pH	Мінералізація, мг/л
Весна	2.8-3.2	18-22	7.8-8.2	450-520
Літо	3.5-4.0	25-30	8.0-8.4	580-650
Осінь	2.5-3.0	20-25	7.6-8.0	520-580
Зима	2.0-2.5	15-20	7.4-7.8	480-540

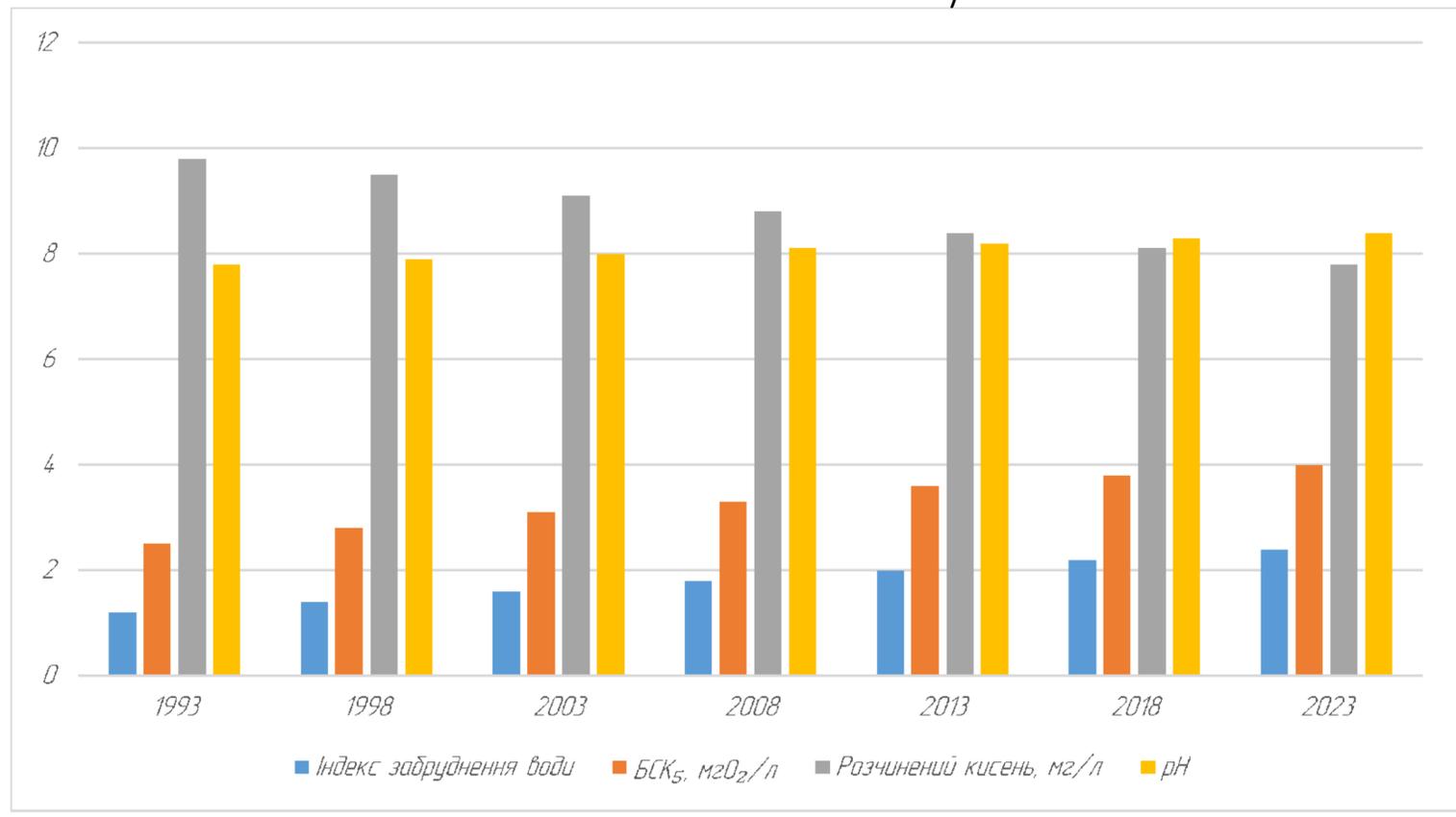
Концентрація біогенних елементів при різних температурах вод

Температура води, °C	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	PO <sub>4</sub> i <sup>-</sup> , мг/л	Si, мг/л
5	0.2	0.8	0.05	3.5
10	0.3	1.0	0.08	4.0
15	0.4	1.2	0.12	4.5
20	0.6	1.5	0.15	5.0
25	0.8	1.8	0.20	5.5

Залежність концентрації розчиненого кисню від температури води

Температура води, °C	Концентрація O <sub>2</sub> , мг/л	Насичення O <sub>2</sub> , %	Індекс якості води
0	14.2	98	1.2
5	12.8	96	1.3
10	11.3	94	1.4
15	9.8	91	1.6
20	8.4	88	1.8
25	7.1	84	2.1
30	5.9	79	2.5

Динаміка змін якості води за період досліджень



601-МТЗ 11393350 МР					
Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла					
Ізв.	Калц.	Лист	Лист	Лист	Лист
Розробила	Дубина К.В.	Лист	Лист	Лист	Лист
Керівник	Степова О.В.	Лист	Лист	Лист	Лист
Моделювання змін екологічних параметрів річки під впливом кліматичних факторів			МР	7	11
Лекція: розвиток фітопланктону при різних температурах			НЧПТ ім. Юрія Кондратюка		
Сезонні зміни показників якості води			Кафедра прикладної екології та природокористування		
Залежність концентрації розчиненого кисню від температури води					
Динаміка змін якості води за період досліджень					
Зав. кафедри	Ілляш О.Е.				

# АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ

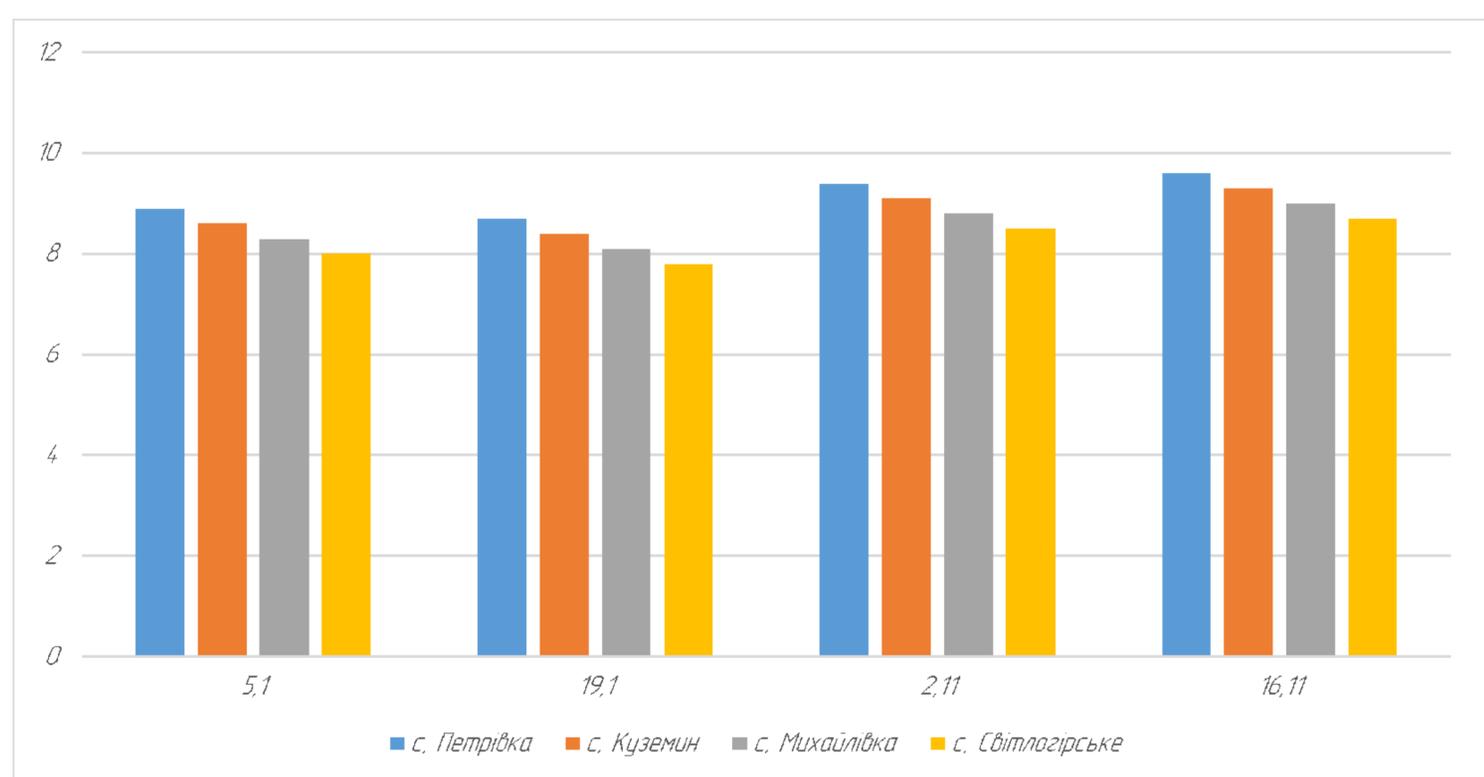
Середні значення гідрохімічних показників води (жовтень 2024)

Показник	с. Петрівка	с. Куземин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура, °C	12.5	12.2	11.8	11.5
pH	7.8	7.9	8.0	8.1
Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	8.8	8.5	8.2	7.9
БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	2.8	3.1	3.4	3.6
Прозорість, см	35	32	30	28

Середні значення гідрохімічних показників води (листопад 2024)

Показник	с. Петрівка	с. Куземин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура, °C	8.5	8.2	7.8	7.5
pH	7.6	7.7	7.8	7.9
Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	9.5	9.2	8.9	8.6
БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	2.5	2.8	3.0	3.2
Прозорість, см	38	35	33	30

Зміни концентрації розчиненого кисню на створах спостереження



601-МТЗ 11393350 МР					
Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла					
Изм. Колич.	Лист	№Роб.	Подп.	Дата	
Розробила	Дудина К.В.				
Керівник	Степова О.В.				
Аналіз основних гідрохімічних показників води				Створ	Лист
				МР	11
Середні значення гідрохімічних показників води (жовтень 2024)				НУПТ ім. Юрія Кондратюка	
Середні значення гідрохімічних показників води (листопад 2024)				Кафедра прикладної екології та природокористування	
Змін концентрації розчиненого кисню на створах спостереження					
Зад. кафедри		Ілляш О. Е.			

Світлогірське  
Всак шиф. №  
Лист і дата  
Місц. № стора

# ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ КЛІМАТИЧНИМИ ФАКТОРАМИ ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ РІЧКИ

Коефіцієнти кореляції між температурою повітря та показниками якості води

Показник	с. Петрівка	с. Куземин	с. Михайлівка	с. Світлогірське
Температура води	0.92	0.90	0.89	0.88
Розчинений O <sub>2</sub>	-0.85	-0.83	-0.82	-0.80
pH	0.45	0.42	0.40	0.38
БСК <sub>5</sub>	0.78	0.75	0.73	0.70
Прозорість	-0.52	-0.50	-0.48	-0.45

Залежність показників розвитку фітопланктону від температури води

Температура води, °C	Чисельність, млн кл/л	Біомаса, г/мі	Кількість видів
12-13	2.8	2.2	28
10-11	2.2	1.8	25
8-9	1.5	1.1	20
6-7	0.8	0.5	15

Коефіцієнти кореляції між опадами та гідрохімічними показниками

Показник	Кількість опадів за добу, мм
Прозорість	-0.68
Електропровідність	-0.55
Завислі речовини	0.72
Загальна мінералізація	-0.48
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.58
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.62

Комплексна оцінка впливу кліматичних факторів на екологічні параметри річки Ворскла (жовтень-листопад 2024)

Дата	Створ	Температура повітря, °C	Температура води, °C	Розчинений O <sub>2</sub> , мг/л	БСК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л	Чисельність фітопланктону, млн кл/л	Біомаса зоопланктону, г/мі
5.10	с. Петрівка	15.2	12.5	8.9	2.8	2.8	0.45
5.10	с. Куземин	15.0	12.2	8.6	3.1	2.5	0.42
5.10	с. Михайлівка	14.8	11.8	8.3	3.4	2.2	0.38
5.10	с. Світлогірське	14.5	11.5	8.0	3.6	1.9	0.35
19.10	с. Петрівка	12.8	11.2	9.1	2.6	2.4	0.40
19.10	с. Куземин	12.5	10.8	8.8	2.9	2.1	0.37
19.10	с. Михайлівка	12.2	10.5	8.5	3.2	1.8	0.33
19.10	с. Світлогірське	12.0	10.2	8.2	3.4	1.5	0.30
2.11	с. Петрівка	8.5	8.5	9.5	2.5	1.5	0.25
2.11	с. Куземин	8.2	8.2	9.2	2.8	1.2	0.22
2.11	с. Михайлівка	8.0	7.8	8.9	3.0	0.9	0.18
2.11	с. Світлогірське	7.8	7.5	8.6	3.2	0.7	0.15
16.11	с. Петрівка	5.5	6.8	9.8	2.3	0.8	0.15
16.11	с. Куземин	5.2	6.5	9.5	2.6	0.6	0.12
16.11	с. Михайлівка	5.0	6.2	9.2	2.8	0.4	0.10
16.11	с. Світлогірське	4.8	6.0	8.9	3.0	0.3	0.08

601-МТЗ 11393350 МР

Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла

Визначення кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та екологічними параметрами річки

Кореляція показує на температурі повітря та показники якості води, залежність показує розчинений O<sub>2</sub>, температуру води, Коефіцієнти кореляції між опадами та екологічними показниками

Комплексна оцінка впливу кліматичних факторів на екологічні параметри річки Ворскла (жовтень-листопад 2024)

Ім'я	Калач	Лист	Літо	Листопад	Зима
Розробила	Душина К. В.				
Керівник	Степова О. В.				
Студія	МР	9	11		
Науковий керівник	Н.П.М. Юрія Кондратюк				
Катедра	Катедра прикладної екології та природокористування				
Зав. кафедрою	Ілляш О. Е.				

Секретаріат  
Відк. шк. №  
Лист і дата  
№№, № лист

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Першочерговим завданням є відновлення та підтримка природного гідрологічного режиму річки шляхом оптимізації роботи гідротехнічних споруд, особливо в меженний період. Необхідно забезпечити мінімальний екологічний стік, достатній для збереження водних екосистем та підтримки процесів самоочищення. Важливим аспектом є впровадження автоматизованої системи управління греблями та шлюзами-регуляторами, яка дозволить оперативно реагувати на зміни водності річки та підтримувати оптимальний рівневий режим. Особливу увагу слід приділити контролю за водоспоживанням у басейні річки, впровадженню водозберігаючих технологій та обмеженню забору води в критичні періоди.

Важливим завданням є відновлення природної рослинності вздовж берегів річки, яка виконує функцію біологічного фільтра та перехоплює поверхневий стік з водозбірної території. У межах водоохоронних зон необхідно контролювати дотримання режиму господарської діяльності, обмежити використання добрив та пестицидів на прилеглих сільськогосподарських угіддях. Слід провести залуження прибережних схилів для запобігання ерозії ґрунтів та зливу забруднюючих речовин у річку.

Необхідно визначити та взяти під охорону ключові ділянки річки, які мають особливе значення для збереження біорізноманіття – місця нересту риб, зимувальні ями, ділянки з рідкісними видами водних організмів.

Розвиток екологічного туризму в басейні річки Ворскла повинен здійснюватись з урахуванням можливого впливу на водні екосистеми.

Необхідно провести модернізацію існуючих очисних споруд з урахуванням можливого зменшення розбавляючої здатності річки. Важливим завданням є впровадження систем глибокого очищення стічних вод від біогенних елементів, які сприяють евтрофікації водойм.

Залучення місцевих громад до охорони річки підвищить ефективність природоохоронних заходів. Організація екологічних акцій згуртує населення навколо проблем збереження водних ресурсів. Проведення освітніх заходів у школах сформує екологічну свідомість молоді. Створення громадських інспекцій посилить контроль за дотриманням природоохоронного законодавства. Розвиток екологічного волонтерства збільшить трудові ресурси для відновлювальних робіт. Підтримка екологічних ініціатив активізує участь населення в охороні річки.

							601-МТЗ 11393350 МР		
							Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла		
Ім'я	Кільк.	Лист	№рек.	Подп.	Дата				
Розробила	Дудина К. В.					Стадія	Лист	Листов	
Керівник	Степова О. В.					МР	10	11	
							Рекомендації щодо запровадження результатів дослідження		
							Рекомендації щодо запровадження результатів дослідження		
							НУПТ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природоохорони		
							Зав. кафедри Ільяш О. Е.		

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень встановлено значний вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла. Аналіз даних спостережень за період 1993–2023 рр. показав стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря в басейні річки на  $2.3^{\circ}\text{C}$  та зменшення річної кількості опадів на 16.6 мм. Найбільші зміни спостерігаються у зимовий період, що проявляється у підвищенні температури повітря та зменшенні кількості опадів.

Розроблена математична модель впливу кліматичних факторів на гідрологічний режим річки дозволила встановити кількісні залежності між кліматичними параметрами та водністю. Підвищення температури повітря на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до зменшення середньорічної витрати води на 5–7%, а зменшення річної кількості опадів на 10% викликає зниження водності річки на 12–15%. Моделювання показало високу чутливість річкової екосистеми до зміни температури води.

На основі експериментальних досліджень виявлено значний вплив температури води на біологічні процеси. При зниженні температури води від  $13^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  спостерігається зменшення чисельності фітопланктону у 9.3 рази та біомаси зоопланктону у 5.6 рази. Встановлено сильну обернену залежність між температурою повітря та концентрацією розчиненого кисню, що вказує на погіршення кисневого режиму при підвищенні температури води.

Розроблений прогноз змін екологічного стану річки до 2030 року показав можливість критичного погіршення ситуації при реалізації песимістичного сценарію кліматичних змін. Прогнозується зниження водності на 25–30% та підвищення температури води до  $30\text{--}31^{\circ}\text{C}$ , що може призвести до порушення кисневого режиму та масового розвитку синьо-зелених водоростей.

На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо адаптації системи моніторингу річки та запропоновано комплекс природоохоронних заходів. Вони включають збільшення частоти спостережень у межений період, контроль за розвитком процесів евтрофікації, оцінку стану популяції індикаторних видів гідродіонтів. Впровадження цих заходів дозволить зменшити негативний вплив кліматичних змін на екологічний стан річки Ворскла та зберегти її природні ресурси для майбутніх поколінь.

						601-МТЗ 11393350 МР		
						Аналіз впливу зміни кліматичних факторів на екологічний стан річки Ворскла		
Изм.	Копія	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Стандія	Лист	Листов
Розробила	Дудина К. В.					МР	11	11
Керівник	Степова О. В.					Висновки		
						Висновки		
Зав. кафедрою						Ільях О. Е.		
						НУПТ ім. Юрія Кондратюка Кафедра прикладної екології та природокористування		