

Міністерство освіти і науки України  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Мац Андрій Дмитрович**

УДК 502.175:[551.58:556.5](043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА СТАН**  
**ПОВЕРХНЕВИХ ВОД**

Спеціальність 101 – Екологія  
Галузь знань 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі  
природничих наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне  
джерело

\_\_\_\_\_ А.Д. Мац

Науковий керівник: Смирнов Віктор Миколайович, кандидат геологічних  
наук, доцент, доцент кафедри екології ЧНУ імені Петра Могили

## АНОТАЦІЯ

Мац А.Д. Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі природничих наук за спеціальністю 101 – Екологія. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2026.

Кліматичні зміни належать до пріоритетних напрямків міжнародної екологічної політики, а також національних досліджень. Більшість басейнів річок і водоймищ України, з яких, переважно, забезпечуються потреби населення у воді, не можна вважати екологічно безпечними. Так, у деяких районах території Північного Причорномор'я відхилення в якості води від норми сягає 70–80%. Актуальність дослідження зумовлена стрімким посиленням кліматичних змін, що безпосередньо впливають на кількість та якість поверхневих вод. В Україні упродовж останніх 30 років річковий стік зменшився на 10–25% у різних регіонах, що вже спричиняє дефіцит водних ресурсів у південних областях. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованої оцінки впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій. Особливо вразливим є Північне Причорномор'я – аридна територія з нестійким водним балансом, високим рівнем водоспоживання та значним антропогенним навантаженням. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованого оцінювання впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій сталого управління водними ресурсами.

У представленій роботі проведено аналіз взаємозв'язків між кліматичними чинниками (опадами, температурою повітря) та гідрохімічними показниками Південного Бугу в межах Миколаєва. Розроблено математичні моделі, які виявили низьку пояснювальну здатність впливу клімату для більшості параметрів. Виявлено, що якість води річки переважно визначається

антропогенним навантаженням та геологічними особливостями. Результати обґрунтовують необхідність пріоритетного зменшення забруднення та впровадження інтегрованого басейнового менеджменту для сталого оздоровлення річкової екосистеми.

**Мета дослідження:** комплексна оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних екосистем з обґрунтуванням лімітуючих чинників, які є ключовими у функціонуванні і еволюції водних об'єктів та розробка математичної моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод.

Мета дослідження визначила такі **завдання:**

1. Теоретичний аналіз літературних джерел з проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, нормативно-законодавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів;
2. Визначити основні індикатори змін клімату, які впливають на водні екосистеми;
3. Дослідження стану екосистеми річки Південний Буг у межах міста Миколаєва;
4. Визначення лімітуючих кліматичних чинників, які є ключовими у функціонуванні та еволюції гідроекосистеми річки; дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу;
5. Оцінювання впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаївської області
6. Розробка математичної моделі щодо впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах міста Миколаєва;
7. Визначення та обґрунтування рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

**Об'єкт дослідження:** процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

**Предмет дослідження:** зміна кліматичних чинників та їх вплив на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

У межах дослідження впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів встановлено, що екологічна безпека означає стабільний стан водних екосистем, який гарантує якість та доступність води без шкоди для природи. Водночас екологічна небезпека пов'язана з ризиками деградації, забруднення та втрати водності, що посилюються через зміни клімату. Уточнення цих понять є важливим для формування ефективних механізмів адаптації та інтегрованого управління водними ресурсами за умов кліматичних викликів і для збереження екологічного балансу в басейнових системах. У процесі аналізу літературних джерел уточнено, що екологічна безпека водних ресурсів – це не лише відсутність забруднення, а й забезпечення сталого (збалансованого) функціонування водних екосистем, що гарантує доступ до якісної води для різних потреб без шкоди для довкілля. Екологічна небезпека водних ресурсів – це стан або загроза порушення природної рівноваги, викликаний як антропогенними факторами, так і змінами клімату (наприклад, зменшенням стоку, забрудненням, втратами біорізноманіття). Отже, уточнення полягає в розширенні та поглибленні трактувань, де враховується вплив кліматичних змін як одного з системоутворюючих чинників як у формуванні загроз, так і в пошуку шляхів забезпечення екологічної безпеки.

Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та світі виявив значні відмінності та шляхи для гармонізації українського законодавства зі стандартами ЄС. Україна активно гармонізує своє законодавство щодо якості поверхневих вод із вимогами ЄС, зокрема Водною рамковою директивою, що передбачає перехід до басейнового принципу управління та вдосконалення моніторингу. Наприклад, стандарти ЄС часто є жорсткішими за українські щодо таких показників, як БСК та нітрати.

Зміна клімату, спричинена переважно антропогенною діяльністю та викидами парникових газів, призводить до значного підвищення глобальної

температури. Показано, що у 2023 році глобальна середня температура була більш ніж на  $1,2^{\circ}\text{C}$  вищою за доіндустріальний час, а 2023 і 2024 роки стали найтеплішими в історії. Ці зміни викликають зростання рівня моря та зміни у кількості й інтенсивності опадів, що призводить до почастишання екстремальних погодних явищ, таких як посухи та зливи. Наслідки цих змін руйнують гідроекосистеми. В Україні також спостерігається ця тенденція. Узагальнено, що, зокрема, на Миколаївщині при порівнянні періодів 1961–1990 та 1991–2000 років зафіксовано приріст середньої температури на  $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ . Україна, ухвалюючи Закон «Про основні засади державної кліматичної політики», впроваджує заходи для адаптації до змін клімату та прагне до кліматичної нейтральності до 2050 року. Для ефективного дослідження впливу зміни клімату на водні ресурси обрано такі ключові параметри, як: температура атмосферного повітря та атмосферні опади, оскільки вони безпосередньо впливають на водний баланс та стан гідроекосистем.

У дослідженні проаналізовано вплив кліматичних змін на водні екосистеми Миколаївської області з використанням даних екологічних паспортів, регіональних доповідей, статистичних збірників, матеріалів Держводагентства, а також супутникових платформ Google Earth Engine, Copernicus та Ventusky. Застосовано методи трендового аналізу, кореляцій, індексів охолодження та гідротермічного коефіцієнта Селянінова (ГТК).

Виявлено чітке підвищення середньорічної температури повітря в регіоні – на  $0,61^{\circ}\text{C}$  за десятиріччя у 1980–2024 роках, що перевищує глобальні показники. Зросла кількість спекотних днів і “тропічних ночей”, що свідчить про теплове навантаження на екосистеми. Кількість опадів зменшується, середні річні значення становлять 409–469 мм. Збільшується частота злив, при цьому ГТК вказує на дефіцит зволоження.

Фіксується аридизація південних територій, з наближенням клімату до напівпустельного типу. Такі зміни впливають на водні ресурси, викликають евтрофікацію, зниження водності та погіршення якості середовища. Необхідне

впровадження адаптаційних стратегій, оновлення моніторингу та раціональне управління водними ресурсами за умов кліматичних викликів.

Басейн Південного Бугу охоплює різні природні зони України, що зумовлює різноманіття кліматичних і гідрологічних умов. Температурні дані у межах Миколаєва свідчать про зростання мінімальних температур, з аномальним значенням  $+1^{\circ}\text{C}$  у 2021 році. Басейн є сильно зарегульованим – понад 8000 водойм, що спричиняє втрату весняного стоку, зниження течії та самоочищення. Визначено, що басейн сильно зарегульований, налічує понад 8000 ставків і водосховищ. Приблизна середня щільність водойм становить близько одного водосховища на кожні 10 км.

Показано, що поверхневі води характеризуються високою жорсткістю (до  $20 \text{ мг-екв/дм}^3$ ) та евтрофікацією. Мінералізація води зростає в напрямку до гирла річки, що зумовлено накопиченням солей і розчинених речовин у нижній течії. Найвищі показники фіксуються у листопаді, після чого спостерігається поступове зниження взимку та навесні. Це пов'язано з особливостями гідрологічного режиму, збільшенням водного стоку в холодний період, що розбавляє концентрацію розчинених речовин. У планктоні переважають малочутливі до забруднення види (Copepoda, Rotatoria), іхтіофауна збіднена (бички, тарань).

На основі супутникових даних визначено, що індекси підтверджують негативні зміни: BLUE знизився з 0,113 до 0,084 (прозорість води), GREEN — 0,097–0,119 (розвиток водоростей), NDVI зріс із 0,132 до 0,165 (заростання берегів), що свідчить про посилення впливу евтрофікації та кліматичних змін на гідроекосистему.

Для дослідження впливу кліматичних чинників на стан поверхневих вод обрано вісім ключових гідрохімічних показників: розчинений кисень, БСК, мінералізація, рН, загальне залізо, твердість, сульфати та нітрати. Чотири з них (рН, БСК, мінералізація, твердість) є інтегрованими. Ці показники були обрані за критеріями чутливості до кліматичних змін, здатності демонструвати сезонні

та річні коливання, відбиття змін у гідрологічному циклі, забезпечення повної екологічної оцінки та практичного значення для управління водними ресурсами.

Пункти спостережень у межах Миколаєва та області обиралися з урахуванням репрезентативності, просторового охоплення, антропогенного впливу, гідродинамічних умов, біологічного різноманіття, доступності та безпеки, а також наявності історії досліджень.

Визначено, що температура поверхневих вод є важливим індикатором кліматичних змін і по-різному впливає на гідрохімічні показники. Лінійні моделі показали слабкі закономірності, тоді як поліноміальні квадратичні моделі краще описують нелінійний характер залежності.

Коефіцієнт детермінації залежності показників від температури становить: розчинений кисень – 30%; БСК<sub>5</sub> – 33%; рН – 16%; мінералізація – 13%; твердість – 27%; загальне залізо – 2%; сульфати – 16%; нітрати – 10%.

Найбільш залежними від температури є розчинений кисень (30%) та БСК<sub>5</sub> (33%). Середній рівень залежності демонструють твердість (27%), рН (16%), мінералізація (13%) та сульфати (16%). Найменш залежними виявилися загальне залізо (2%) та нітрати (10%), що вказує на незначний вплив змін температури на ці показники.

Дослідження показало, що робочі гіпотези частково не підтвердилися. Хоча теоретично опади можуть впливати на якість води через розбавлення, змив органіки та хімічних речовин, статистичні моделі продемонстрували дуже низькі коефіцієнти детермінації ( $R^2$ ) для більшості показників. Так, для розчинного кисню, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізації, сульфатів, нітратів, загального заліза виявлено слабкі або відсутні залежності ( $R^2$  здебільшого  $< 0,05$ ). Винятком є твердість води, для якої кубічна модель показала відносно високу пояснювальну здатність ( $R^2 \approx 0,705$ ), що свідчить про наявність складної нелінійної залежності.

Низький вплив опадів пояснюється здатністю гідроекосистем до саморегуляції та переважанням інших факторів. Температура води, швидкість течії, антропогенне забруднення, геологічна будова, сезонність та біологічні процеси мають суттєвіший вплив на хімічний склад води. Крім того, опади можуть діяти одночасно в протилежних напрямках — з одного боку, розбавляючи воду, з іншого — збагачуючи її забруднювачами, що нівелює загальний ефект. Таким чином, кількість опадів не є визначальним чинником для якості води Південного Бугу в межах Миколаївської області.

На основі математичних моделей, побудованих для гідрохімічних показників Південного Бугу в межах Миколаєва, встановлено, що кліматичні чинники – кількість опадів та температура повітря – мають обмежений вплив на більшість з них. Зокрема, коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) для моделей загального заліза (0,127), БСК<sub>5</sub> (0,176), сульфатів (0,283), мінералізації (0,288), рН (0,354) та твердості (0,380) виявився низьким. Це свідчить, що ці показники лише незначною мірою пояснюються змінами опадів та температури. Наприклад, для БСК<sub>5</sub> понад 82% варіацій залишаються поза впливом кліматичних чинників, вказуючи на домінуючу роль інших факторів, таких як концентрація органічних речовин від стічних вод та гідрологічний режим. Аналогічно, для рН та мінералізації, понад 64% та 71% варіацій відповідно, залежать від некліматичних факторів, включаючи геологічні особливості та антропогенне навантаження. Дещо помітніший вплив кліматичні чинники мають на розчинений кисень ( $R^2=0,4484$ ) та нітрати ( $R^2=0,505$ ), пояснюючи приблизно половину їхніх варіацій. Однак, навіть для цих показників, значна частина змін обумовлена іншими факторами, такими як рівень забруднення, гідрологічний режим, наявність флори та фауни, а також скиди стічних вод.

Доведено, що стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаєва значною мірою визначається не кліматичними чинниками, а антропогенними впливами та геологічними, гідрологічними особливостями водозбору, що стало ключовим підґрунтям щодо розробки рекомендацій з інтегрованого

менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

У результаті проведеного дослідження:

**Уперше** у вітчизняній теорії та практиці управління водними ресурсами систематизовано та обґрунтовано міждисциплінарний підхід (який охоплює методи різних галузей знань, а саме: гідрохімії (моніторингові дослідження показників стану гідроекосистем; метеорології (моніторингові дослідження кліматичних показників); системної екології (теоретичний аналіз та синтез; порівняльний аналіз) до оцінювання взаємозв'язків між кліматичними чинниками та гідрохімічним станом річкових екосистем на прикладі Південного Бугу в межах міста Миколаєва, який полягає у тому, що: розроблено та проаналізовано комплекс математичних моделей, що кількісно описують залежність ключових інтегрованих гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізація, твердість, загальне залізо, нітрати, сульфати) від атмосферних опадів та температури повітря. Це дозволило вперше чітко продемонструвати та кількісно оцінити низьку пояснювальну здатність зазначених кліматичних чинників для більшості досліджених гідрохімічних параметрів річки, підтверджуючи домінуючу роль некліматичних (антропогенних, геологічних та гідрологічних) факторів у формуванні якості води. Визначено конкретні кількісні характеристики нелінійних (параболічних) залежностей окремих гідрохімічних показників (зокрема, розчиненого кисню, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізації, твердості, загального заліза, нітратів та сульфатів) від температури повітря, включаючи виявлення оптимальних або мінімальних температурних значень, що відображають специфічні біогеохімічні процеси у водній екосистемі Південного Бугу.

**Удосконалено** сутність та розширено трактування понять "екологічна безпека водних ресурсів" та "екологічна небезпека водних ресурсів" завдяки інтеграції впливу змін клімату як системоутворюючого чинника. Це дозволило представити екологічну безпеку як забезпечення сталого функціонування

водних екосистем, що гарантує якість та доступність води, а екологічну небезпеку – як комплексну загрозу деградації, забруднення та втрати водності, що посилюється взаємодією антропогенних та кліматичних чинників.

**Набули подальшого розвитку** методологічні підходи до порівняльного аналізу нормативної бази через зіставлення українських стандартів якості поверхневих вод з міжнародними (європейськими) нормативами. Це дозволило виявити конкретні розбіжності та обґрунтувати шляхи гармонізації національного законодавства у сфері водних ресурсів з Водною рамковою директивою ЄС; регіональні аспекти кліматичних змін та їхнього впливу на гідроекосистеми, зокрема зафіксовано зростання середньої температури на Миколаївщині та узагальнено наслідки цих змін (почастішання посух, інтенсивних злив, деградація водних об'єктів), що конкретизує загальносвітові тенденції на локальному рівні та створює емпіричну базу для подальших адаптаційних стратегій.

**Ключові слова:** СТАЛИЙ РОЗВИТОК; ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ; ЗАБРУДНЕННЯ; ЗМІНИ КЛІМАТУ; ВОДА; ВОДНІ РЕСУРСИ; ПОКАЗНИК ЯКОСТІ ВОДИ; ПІВДЕННИЙ БУГ; БУЗЬКИЙ ЛИМАН; ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА; ГРАНІЧНО-ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ; ТРЕНДИ ЗАБРУДНЕННЯ; АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ; СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ; АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІН КЛІМАТУ.

## SUMMARY

Mats A.D. Assessment of the impact of climate change on the state of surface waters. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of natural sciences in the specialty 101 – Ecology. – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2026

Climate change is among the priority areas of international environmental policy, as well as national research. Most river basins and reservoirs in Ukraine, which primarily meet the water needs of the population, cannot be considered ecologically safe. For instance, in some areas of the Northern Black Sea region, water quality deviations from the norm reach 70–80%. The urgency of the research is driven by the rapid intensification of climate change, which directly affects the quantity and quality of surface waters. In Ukraine, over the last 30 years, river flow has decreased by 10–25% in various regions, already leading to water resource deficits in the southern oblasts. This threatens the stability of water supply and the functioning of ecosystems, necessitating a scientifically substantiated assessment of climate change impacts to develop adaptation strategies. The Northern Black Sea region is particularly vulnerable –an arid territory with an unstable water balance, high water consumption, and significant anthropogenic pressure. This threatens the stability of water supply and the functioning of ecosystems, requiring a scientifically sound assessment of climate change impacts to develop adaptation strategies for sustainable water resource management.

In the presented work, an analysis of the interrelationships between climatic factors (precipitation, air temperature) and the hydrochemical parameters of the Southern Buh within Mykolaiv was conducted. Mathematical models were developed, which revealed a low explanatory power of climate influence for most parameters. It was found that the river's water quality is primarily determined by anthropogenic load and geological features. The results substantiate the necessity of

prioritizing pollution reduction and implementing integrated basin management for the sustainable recovery of the river ecosystem.

**Research Goal:** To comprehensively assess the impact of climate change on the state of surface water ecosystems by substantiating limiting factors that are key to the functioning and evolution of water bodies, and to develop a mathematical model of the impact of climate change on the state of surface waters.

The research goal defined the following **tasks**:

1. Theoretical analysis of literature on climate change and the assessment of surface natural hydroecosystem conditions, as well as the regulatory and legislative framework for integrated water resource management.

2. Identify the main indicators of climate change that affect water ecosystems.

3. Study the state of the Southern Buh river ecosystem within the city of Mykolaiv.

4. Determine the limiting climatic factors that are key to the functioning and evolution of the river's hydroecosystem; investigate the dynamics of integrated hydrochemical indicators of the Southern Bug hydroecosystem.

5. Assess the impact of climatic factors on the state of the Southern Buh hydroecosystem within Mykolaiv Region.

6. Develop a mathematical model on the impact of climatic factors on the state of the Southern Buh hydroecosystem within the city of Mykolaiv.

7. Define and substantiate recommendations for integrated water resource management and sustainable (balanced) environmental management.

**Object of research:** The processes of climate change impact on the state of natural surface waters of the Southern Buh river within the city of Mykolaiv.

**Subject of research:** Changes in climatic factors and their impact on the state of natural surface waters of the Southern Buh river within the city of Mykolaiv.

Within the study of climate change impact on water resources, it has been established that environmental safety signifies a stable state of aquatic ecosystems, ensuring water quality and availability without harm to nature. At the same time,

environmental hazard is associated with the risks of degradation, pollution, and water loss, exacerbated by climate change. Clarifying these concepts is crucial for forming effective mechanisms of adaptation and integrated water resource management in the face of climatic challenges, and for preserving ecological balance in basin systems. In the process of analyzing literature, it was clarified that the environmental safety of water resources is not merely the absence of pollution, but also the assurance of sustainable (balanced) functioning of aquatic ecosystems, which guarantees access to quality water for various needs without harming the environment. The environmental hazard of water resources is a state or threat of natural balance disruption, caused by both anthropogenic factors and climate change (e.g., reduced flow, pollution, biodiversity loss). Thus, the clarification lies in expanding and deepening interpretations, where the impact of climate change is considered a system-forming factor both in posing threats and in seeking ways to ensure environmental safety.

A comparative analysis of surface water quality standards in Ukraine and globally revealed significant differences and pathways for harmonizing Ukrainian legislation with EU standards. Ukraine is actively harmonizing its legislation on surface water quality with EU requirements, particularly the Water Framework Directive, which envisages a transition to a basin-based management principle and improved monitoring. For example, EU standards are often stricter than Ukrainian ones regarding indicators such as BOD and nitrates.

Climate change, primarily caused by anthropogenic activity and greenhouse gas emissions, leads to a significant increase in global temperature. It has been shown that in 2023, the global average temperature was more than 1.2°C higher than pre-industrial levels, and 2023 and 2024 became the warmest years on record. These changes cause sea-level rise and shifts in the amount and intensity of precipitation, leading to an increase in extreme weather events such as droughts and heavy rains. The consequences of these changes destroy hydroecosystems. This trend is also observed in Ukraine. It has been generalized that, specifically in Mykolaiv Oblast, a

1-1.5°C increase in average temperature was recorded when comparing the periods 1961–1990 and 1991–2000. Ukraine, by adopting the Law "On the Basic Principles of State Climate Policy," is implementing measures for climate change adaptation and aims for climate neutrality by 2050. For an effective study of climate change impact on water resources, key parameters such as air temperature and atmospheric precipitation were chosen, as they directly affect the water balance and the state of hydroecosystems.

The study analyzed the impact of climate change on aquatic ecosystems in Mykolaiv Oblast using data from environmental passports, regional reports, statistical collections, State Water Agency materials, as well as satellite platforms Google Earth Engine, Copernicus, and Ventusky. Methods of trend analysis, correlations, cooling indices, and Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) were applied.

A clear increase in the average annual air temperature in the region was found – by 0.61°C per decade in 1980–2024, which exceeds global indicators. The number of hot days and "tropical nights" increased, indicating thermal stress on ecosystems. Precipitation is decreasing, with average annual values ranging from 409–469 mm. The frequency of heavy rains is increasing, while HTC indicates a moisture deficit.

Aridization of southern territories is recorded, with the climate approaching a semi-desert type. Such changes affect water resources, cause eutrophication, reduce water content, and degrade environmental quality. It is necessary to implement adaptation strategies, update monitoring, and rationally manage water resources under climatic challenges.

The Southern Buh basin covers various natural zones of Ukraine, leading to diverse climatic and hydrological conditions. Temperature data within Mykolaiv indicate an increase in minimum temperatures, with an anomalous value of +1°C in 2021. The basin is highly regulated – over 8000 water bodies, which leads to a loss of spring runoff, reduced flow, and self-purification. It has been determined that the

basin is highly regulated, containing over 8000 ponds and reservoirs. The approximate average density of water bodies is about one reservoir per every 10 km.

It is shown that surface waters are characterized by high hardness (up to 20 mg-eq/dm<sup>3</sup>) and eutrophication. Water mineralization increases towards the river mouth, due to the accumulation of salts and dissolved substances in the lower course. The highest indicators are recorded in November, followed by a gradual decrease in winter and spring. This is related to the specifics of the hydrological regime, an increase in water flow during the cold period, which dilutes the concentration of dissolved substances. Plankton is dominated by species less sensitive to pollution (Copepoda, Rotatoria), fish fauna is depleted (gobies, roach).

Based on satellite data, it was determined that indices confirm negative changes: BLUE decreased from 0.113 to 0.084 (water transparency), GREEN — 0.097–0.119 (algae development), NDVI increased from 0.132 to 0.165 (bank overgrowth), which indicates an intensification of eutrophication and climate change impact on the hydroecosystem.

For studying the impact of climatic factors on the state of surface waters, eight key hydrochemical indicators were chosen: dissolved oxygen, BOD, mineralization, pH, total iron, hardness, sulfates, and nitrates. Four of them (pH, BOD, mineralization, hardness) are integrated. These indicators were selected based on criteria of sensitivity to climate change, ability to demonstrate seasonal and annual fluctuations, reflection of changes in the hydrological cycle, provision of a comprehensive ecological assessment, and practical significance for water resource management.

Observation points within Mykolaiv and the region were selected considering representativeness, spatial coverage, anthropogenic impact, hydrodynamic conditions, biological diversity, accessibility and safety, as well as the availability of research history.

It was determined that surface water temperature is an important indicator of climate change and affects hydrochemical parameters differently. Linear models

showed weak patterns, while polynomial quadratic models better describe the nonlinear nature of the dependence.

The coefficient of determination for the dependence of indicators on temperature is: dissolved oxygen – 30%; BOD<sub>5</sub> – 33%; pH – 16%; mineralization – 13%; hardness – 27%; total iron – 2%; sulfates – 16%; nitrates – 10%.

The most temperature-dependent are dissolved oxygen (30%) and BOD<sub>5</sub> (33%). An average level of dependence is shown by hardness (27%), pH (16%), mineralization (13%), and sulfates (16%). The least dependent were total iron (2%) and nitrates (10%), indicating a minor impact of temperature changes on these indicators.

The study showed that the working hypotheses were partially not confirmed. Although theoretically precipitation can affect water quality through dilution, washing away organic matter, and chemical substances, statistical models demonstrated very low coefficients of determination ( $R^2$ ) for most indicators. Thus, for dissolved oxygen, BOD<sub>5</sub>, pH, mineralization, sulfates, nitrates, total iron, weak or no dependencies were found ( $R^2$  mostly  $< 0.05$ ). An exception is water hardness, for which the cubic model showed a relatively high explanatory power ( $R^2 \approx 0.705$ ), indicating a complex nonlinear dependence.

The low influence of precipitation is explained by the ability of hydroecosystems to self-regulate and the prevalence of other factors. Water temperature, flow velocity, anthropogenic pollution, geological structure, seasonality, and biological processes have a more significant impact on the chemical composition of water. In addition, precipitation can act simultaneously in opposite directions – on the one hand, diluting water, and on the other hand, enriching it with pollutants, which negates the overall effect. Thus, precipitation is not a determining factor for the water quality of the Southern Buh in Mykolaiv Oblast.

Based on mathematical models constructed for the hydrochemical indicators of the Southern Buh within Mykolaiv, it was established that climatic factors – precipitation and air temperature – have a limited impact on most of them.

Specifically, the coefficient of determination ( $R^2$ ) for models of total iron (0.127), BOD5 (0.176), sulfates (0.283), mineralization (0.288), pH (0.354), and hardness (0.380) was low. This indicates that these indicators are only marginally explained by changes in precipitation and temperature. For example, for BOD5, over 82% of variations remain outside the influence of climatic factors, indicating the dominant role of other factors, such as the concentration of organic substances from wastewater and the hydrological regime. Similarly, for pH and mineralization, over 64% and 71% of variations, respectively, depend on non-climatic factors, including geological features and anthropogenic load. Climatic factors have a somewhat more noticeable influence on dissolved oxygen ( $R^2=0.4484$ ) and nitrates ( $R^2=0.505$ ), explaining approximately half of their variations. However, even for these indicators, a significant part of the changes is caused by other factors, such as the level of pollution, hydrological regime, presence of flora and fauna, and wastewater discharges.

It has been proven that the state of the Southern Bug hydroecosystem within Mykolaiv is largely determined not by climatic factors, but by anthropogenic influences and geological, hydrological features of the watershed, which became the key basis for developing recommendations for integrated water resource management and sustainable (balanced) environmental management.

As a result of the conducted research:

For the **first time** in Ukrainian theory and practice of water resource management, an interdisciplinary approach has been systematized and substantiated (covering methods from various fields of knowledge, namely: hydrochemistry (monitoring studies of hydroecosystem indicators; meteorology (monitoring studies of climatic indicators); systemic ecology (theoretical analysis and synthesis; comparative analysis)) to assess the interrelationships between climatic factors and the hydrochemical state of river ecosystems, using the example of the Southern Bug within the city of Mykolaiv, which consists of: developing and analyzing a set of mathematical models that quantitatively describe the dependence of key integrated

hydrochemical indicators (dissolved oxygen, BOD5, pH, mineralization, hardness, total iron, nitrates, sulfates) on atmospheric precipitation and air temperature. This allowed for the first time to clearly demonstrate and quantitatively assess the low explanatory power of these climatic factors for most of the studied hydrochemical parameters of the river, confirming the dominant role of non-climatic (anthropogenic, geological, and hydrological) factors in water quality formation. Specific quantitative characteristics of nonlinear (parabolic) dependencies of individual hydrochemical indicators (in particular, dissolved oxygen, BOD5, pH, mineralization, hardness, total iron, nitrates, and sulfates) on air temperature have been determined, including the identification of optimal or minimal temperature values that reflect specific biogeochemical processes in the Southern Bug aquatic ecosystem.

The essence and interpretation of the concepts "environmental safety of water resources" and "environmental hazard of water resources" **have been improved and expanded** by integrating the influence of climate change as a system-forming factor. This allowed presenting environmental safety as ensuring the sustainable functioning of aquatic ecosystems, which guarantees water quality and availability, and environmental hazard – as a complex threat of degradation, pollution, and water loss, exacerbated by the interaction of anthropogenic and climatic factors.

**Further development has been achieved in:**

Methodological approaches to the comparative analysis of the regulatory framework by comparing Ukrainian surface water quality standards with international (European) standards. This allowed identifying specific discrepancies and substantiating ways to harmonize national legislation in the field of water resources with the EU Water Framework Directive; regional aspects of climate change and their impact on hydroecosystems, in particular, an increase in average temperature in Mykolaiv Oblast has been recorded and the consequences of these changes (increased frequency of droughts, intense rains, degradation of water

bodies) have been summarized, which concretizes global trends at the local level and creates an empirical basis for further adaptation strategies.

Keywords: SUSTAINABLE DEVELOPMENT; ENVIRONMENTAL MONITORING; POLLUTION; CLIMATE CHANGE; WATER; WATER RESOURCES; WATER QUALITY INDEX; SOUTHERN BUH; BUH ESTUARY; ENVIRONMENTAL SAFETY; MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATIONS; POLLUTION TREND; ANTHROPOGENIC IMPACT; STATISTICAL RESEARCH; ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	20
ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	32
1.1. Дослідження екологічної безпеки і небезпеки водних об'єктів у працях українських та зарубіжних учених.....	32
1.2. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та світі.....	49
1.3. Проблема змін клімату у міжнародній інституційній базі та кліматичні чинники, які впливають на стан водних ресурсів.....	61
Висновки до першого розділу.....	80
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ІНДИКАТОРІВ ЗМІН КЛІМАТУ, ЯКІ ВЛИВАЮТЬ НА ВОДНІ ЕКОСИСТЕМИ	81
2.1. Основні матеріали дослідження.....	81
2.2. Температурний режим Миколаєва і Миколаївської області.....	82
2.3. Режим кількості опадів Миколаєва і Миколаївської області.....	95
Висновки до другого розділу.....	116
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЕКОСИСТЕМИ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ У МЕЖАХ МІСТА МИКОЛАЄВА.....	118
3.1. Характеристика об'єкту дослідження.....	118
3.1.1. Географічна та гідрологічна характеристика Південного Бугу.....	118
3.1.2. Особливості Бузького лиману.....	128
3.2. Температурний режим річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.....	140
3.3. Дослідження зарегульованості басейну річки Південний Буг.....	143
3.4. Дослідження стану поверхневих вод в акваторії міста Миколаєва.....	149

3.5. Визначення BLUE-, GREEN- і NDVI-індексів засобами Google Earth Engine задля оцінювання стану гідроекосистеми Бузького лиману.....	159
Висновки до третього розділу .....	165
РОЗДІЛ 4. ДИНАМІКА ТА ТЕМПЕРАТУРНІ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНІХ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРОЕКΟΣΙΣΤΕΜΙ ПІВДЕННОГО БУГУ В МЕЖАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	167
4.1. Вибір інтегрованих гідрохімічних показників та пунктів спостережень.....	167
4.2. Дослідження динаміки показників розчинного кисню і БСК <sub>5</sub> .....	173
4.3. Дослідження зміни показників рН і мінералізації.....	187
4.4. Дослідження зміни показника твердості води.....	198
4.5. Дослідження зміни показника загального заліза.....	204
4.6. Дослідження зміни показників сульфатів і нітратів.....	212
4.7. Узагальнення та систематизація дослідження залежності інтегрованих гідрохімічних показників від температури води.....	220
Висновки до четвертого розділу .....	222
РОЗДІЛ 5. ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ГІДРОЕКΟΣΙΣΤΕΜΙ ПІВДЕННОГО БУГУ У МЕЖАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	225
5.1. Влив кількості опадів на рівень розчинного кисню і БСК <sub>5</sub> .....	225
5.2. Влив кількості опадів на рівень рН і мінералізації.....	229
5.3. Влив кількості опадів на рівень твердості води.....	231
5.4. Влив кількості опадів на рівень загального заліза.....	233
5.5. Влив кількості опадів на рівень сульфатів і нітратів.....	236
Висновки до п'ятого розділу .....	240

РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА АКВАТОРІЮ ПІВДЕННОГО БУГУ ПОБЛИЗУ МИКОЛАЄВА.....	243
6.1. Побудова статистичних моделей залежності гідрохімічних показників від температури та кількості опадів.....	243
6.2. Аналіз обмежень та ролі кліматичних чинників у моделюванні гідрохімічних показників.....	256
6.3. Рекомендації з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування в контексті впливу змін клімату.....	258
Висновки до шостого розділу.....	266
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	268
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	273
ДОДАТКИ.....	291
Додаток А. Температура повітря (середня за рік, максимальна, мінімальна) та річна кількість опадів в м. Миколаїв у період з 1980 по 2024 р. (за даними спостережень авіаметеорологічної станції Миколаїв).....	291
Додаток Б. Температура води річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.....	293
Додаток В. Перелік водосховищ в басейні Південного Бугу.....	295
Додаток Д. Результати дослідження якості поверхневих вод.....	301

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Кліматичні зміни належать до пріоритетних напрямків міжнародної екологічної політики, а також національних досліджень. Більшість басейнів річок і водоймищ України, з яких, переважно, забезпечуються потреби населення у воді, не можна вважати екологічно безпечними. Так, у деяких районах території Північного Причорномор'я відхилення в якості води від норми сягає 70–80%. Актуальність дослідження зумовлена стрімким посиленням кліматичних змін, що безпосередньо впливають на кількість та якість поверхневих вод. За даними Всесвітньої метеорологічної організації, глобальна температура у 2023 році перевищила доіндустріальний рівень на 1,45 °C, що супроводжувалося екстремальними погодними явищами, включаючи посухи та паводки. В Україні упродовж останніх 30 років річковий стік зменшився на 10–25 % у різних регіонах, що вже спричиняє дефіцит водних ресурсів у південних областях. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованої оцінки впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій. Особливо вразливим є Північне Причорномор'я – аридна територія з нестійким водним балансом, високим рівнем водоспоживання та значним антропогенним навантаженням. Це загрожує стабільності водопостачання, функціонуванню екосистем і вимагає науково обґрунтованого оцінювання впливу кліматичних змін для розробки адаптаційних стратегій сталого управління водними ресурсами.

Проблемі взаємозв'язку змін клімату й водних ресурсів присвячено численні дослідження зарубіжних (Staddon C., Empinotti V.L., Keeler B.L., Sušnik J. та ін.) і українських учених (Хільчевський В.К., Сніжко С.І., Пелешенко В.І., Денисова О.І., Гребінь В.В. тощо), які підкреслюють необхідність інтегрованого підходу до оцінювання ризиків та адаптації до нових кліматичних умов. Це підтверджує потребу в поглибленому вивченні регіональних особливостей кліматичних впливів і формуванні ефективних

моделей управління водними ресурсами. Тому особливої наукової актуальності та значення набуває дослідження, присвячене вивченню впливу кліматичних змін на стан поверхневих вод.

Актуальність дослідження обумовило визначення теми: «Оцінка впливу змін клімату на стан поверхневих вод».

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження виконано відповідно до наукової тематики кафедри екології Чорноморського національного університету імені Петра Могили «Екологічна безпека водних ресурсів»/«Water Security» (державний реєстраційний номер 0124U004562). Тема дисертаційного дослідження затверджена рішенням вченої ради Чорноморського національного університету імені Петра Могили (протокол № 11 від 29.11.2023 р.).

**Мета дослідження:** комплексна оцінка впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних екосистем з обґрунтуванням лімітуючих чинників, які є ключовими у функціонуванні і еволюції водних об'єктів та розробка математичної моделі впливу змін клімату на стан поверхневих вод.

Мета дослідження визначила такі **завдання**:

1. Теоретичний аналіз літературних джерел з проблем змін клімату та оцінки стану поверхневих природних гідроекосистем, нормативно-законодавчої бази щодо інтегрованого менеджменту водних ресурсів;
2. Визначити основні індикатори змін клімату, які впливають на водні екосистеми;
3. Дослідження стану екосистеми річки Південний Буг у межах міста Миколаєва;
4. Визначення лімітуючих кліматичних чинників, які є ключовими у функціонуванні та еволюції гідроекосистеми річки; дослідження динаміки інтегрованих гідрохімічних показників гідроекосистеми Південного Бугу;
5. Оцінювання впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаївської області

6. Розробка математичної моделі щодо впливу кліматичних чинників на стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах міста Миколаєва;

7. Визначення та обґрунтування рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

**Об'єкт дослідження:** процеси впливу змін клімату на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

**Предмет дослідження:** зміна кліматичних чинників та їх вплив на стан природних поверхневих вод річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.

**Методи дослідження.** При проведенні роботи було використано загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, спостереження, узагальнення та системно-структурний підхід. Застосовано методи гідрометеорологічного, екологічного моніторингу та фізико-хімічні методи визначення концентрації забруднюючих речовин. Для обробки та оцінювання отриманих даних використано методи математичного аналізу, кореляційного та непараметричного статистичного аналізу. Особливу увагу приділено використанню геоінформаційних технологій. Зокрема, застосовано платформу Google Earth Engine (GEE), як потужного інструменту для просторового аналізу супутникових знімків та кліматичних даних, що дозволив здійснити оцінку змін температурного режиму та кількості опадів у часовій динаміці. Використовували супутникові знімки для моніторингу змін поверхневих вод, а саме колекції знімків: Sentinel-2 для візуалізації водного покриття та визначення характеристик якості води (наприклад, хлорофіл, мутність); Landsat (наприклад, Landsat 8) для аналізу змін на більшій часовій шкалі. Також використовувались дані Copernicus Climate Change Service та ресурс Ventusky для уточнення метеорологічних показників у просторі та часі. Застосування ГІС-методів забезпечило візуалізацію кліматичних змін, виявлення температурних аномалій та моделювання ризиків для водних екосистем. Також для проведення обчислювальних операцій, обробки та

візуалізації даних було використано хмарне середовище розробки Google Colaboratory/Colab (хмарне середовище розробки), що дозволило ефективно виконувати моделювання та побудову 3D-графіків-поверхонь, були реалізовані за допомогою мови програмування Python. Дослідження проводилось на території міста Миколаєва в межах басейну річки Південний Буг.

**Наукова новизна.** *Уперше* у вітчизняній теорії та практиці управління водними ресурсами систематизовано та обґрунтовано міждисциплінарний підхід (який охоплює методи різних галузей знань, а саме: гідрохімії (моніторингові дослідження показників стану гідроекосистем; метеорології (моніторингові дослідження кліматичних показників); системної екології (теоретичний аналіз та синтез; порівняльний аналіз) до оцінювання взаємозв'язків між кліматичними чинниками та гідрохімічним станом річкових екосистем на прикладі Південного Бугу в межах міста Миколаєва, який полягає у тому, що: *розроблено та проаналізовано* комплекс математичних моделей, що кількісно описують залежність ключових інтегрованих гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізація, твердість, загальне залізо, нітрати, сульфати) від атмосферних опадів та температури повітря. Це дозволило вперше чітко продемонструвати та кількісно оцінити низьку пояснювальну здатність зазначених кліматичних чинників для більшості досліджених гідрохімічних параметрів річки, підтверджуючи домінуючу роль некліматичних (антропогенних, геологічних та гідрологічних) факторів у формуванні якості води. Визначено конкретні кількісні характеристики нелінійних (параболічних) залежностей окремих гідрохімічних показників (зокрема, розчиненого кисню, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізації, твердості, загального заліза, нітратів та сульфатів) від температури повітря, включаючи виявлення оптимальних або мінімальних температурних значень, що відображають специфічні біогеохімічні процеси у водній екосистемі Південного Бугу.

*Удосконалено* сутність та розширено трактування понять "екологічна безпека водних ресурсів" та "екологічна небезпека водних ресурсів" завдяки інтеграції впливу змін клімату як системоутворюючого чинника. Це дозволило представити екологічну безпеку як забезпечення сталого функціонування водних екосистем, що гарантує якість та доступність води, а екологічну небезпеку – як комплексну загрозу деградації, забруднення та втрати водності, що посилюється взаємодією антропогенних та кліматичних чинників.

*Набули подальшого розвитку* методологічні підходи до порівняльного аналізу нормативної бази через зіставлення українських стандартів якості поверхневих вод з міжнародними (європейськими) нормативами. Це дозволило виявити конкретні розбіжності та обґрунтувати шляхи гармонізації національного законодавства у сфері водних ресурсів з Водною рамковою директивою ЄС; регіональні аспекти кліматичних змін та їхнього впливу на гідроекосистеми, зокрема зафіксовано зростання середньої температури на Миколаївщині та узагальнено наслідки цих змін (почастішання посух, інтенсивних злив, деградація водних об'єктів), що конкретизує загальносвітові тенденції на локальному рівні та створює емпіричну базу для подальших адаптаційних стратегій.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі отриманих результатів про низький вплив кліматичних чинників на більшість гідрохімічних показників визначено, що основні зусилля та інвестиції у поліпшення якості води мають бути спрямовані не на адаптацію до кліматичних змін як першочерговий фактор впливу на якість, а на радикальне зменшення антропогенного навантаження. Розроблені математичні моделі можуть слугувати базою для майбутніх, більш комплексних систем моніторингу та прогнозування якості води. Розуміння відносної ролі кліматичних та некліматичних чинників дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів та управлінських зусиль. Замість того, щоб зосереджуватися виключно на кліматичних моделях, які можуть давати обмежену інформацію

для певних гідрохімічних параметрів, органи влади та відповідальні організації можуть переорієнтувати свою діяльність на прямі джерела забруднення, забезпечуючи більш швидкий та відчутний результат у поліпшенні якості вод Південного Бугу. Інтегроване басейнове управління має враховувати не лише кліматичні загрози, а й, що важливіше, комплексний антропогенний вплив. Це сприятиме розробці більш ефективних регіональних програм з охорони та раціонального використання водних ресурсів, що є критично важливим для сталого розвитку Миколаївщини.

Впровадження результатів дослідження здійснювалося у процесі систематичної роботи з природоохоронними установами – Обласне управління екології та природних ресурсів Миколаївської ОВА (акт впровадження №1501/011-04/01 від 10.10.2024); Національний природний парк «Бузький Гард» (акт впровадження №406 від 23.12.2025); Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області (акт впровадження №296/01 від 23.12.2025).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням, виконаним автором. Здобувачем було проведено аналіз наукової літератури, визначені напрямки та завдання досліджень, виконані основні експерименти та вимірювання досліджуваних параметрів, проведено аналіз та систематизація результатів дослідження. Вимірювання концентрації забруднюючих речовин проводилися спільно із науковим керівником в навчально-науковій лабораторії хімії та екологічного моніторингу Навчально-наукового медичного інституту Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Обговорення результатів досліджень, викладених в дисертації, проводили разом зі співавторами статей. Друковані публікації з висвітлення отриманих даних підготовлено як одноосібно, так й у співавторстві.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи були оприлюднені, обговорені та опубліковані в матеріалах українських та

міжнародних науково-практичних конференцій: XVII Міжнародна наукова конференція «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2023: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, 15–18 червня 2023 р.) / Чорноморський національний університет імені Петра Могили; V Міжнародної наук.-практ. конф. «Європейські виміри сталого розвитку», (м. Київ, КНУХТ, 1–2 червня 2023 р.); V International Scientific-Practical Conference [«Water Supply and Wastewater Disposal: designing, construction, operation and monitoring»], (Lviv, 11–13 October, 2023) / Lviv Polytechnic National University; IV Міжнар. наук.-практичної конф. «Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях», (м. Київ, КНУБА, 22–24 лист. 2023 р.); XXVI Всеукр. наук.-практ. конф. присвячена Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку «Могилянські читання – 2023»: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 6–10 листоп. 2023 р.); International Conference on European Dimensions of Sustainable Development, (Kyiv, June 1–2, 2023 Kyiv); XVI Миколаївські міські екологічні читання «Збережемо для нащадків», (м. Миколаїв, 23 листопада 2023 р.); Інтернет-конференції «Сталий розвиток ЄС – кращі практики для України», (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 22 лютого 2024 року); IX Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 28–29 березня 2024 р.); XVIII Міжнародна наукова конференція «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» [«Ольвійський форум – 2024: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»] (м. Миколаїв, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 20–23 червня

2024 р.); IX Міжнародний з'їзд екологів, (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет. 25–27 вересня 2024 р.); 8-й Міжнародний конгрес: «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 16–18 жовтня 2024 р.); XXVII Всеукр. наук.-практ. конф. присвяченої Всесвіт. дню науки в ім'я миру та розвитку «Могилянські читання – 2024: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти. Природничі науки», (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 6–10 листоп. 2024 р.); V Міжнародна науково-практична конференція : Енергія. Ресурси. Екологія : багатофункціональні еко- та енергоефективні, реурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях, (Київ, КНУБА, 27–29 листопада 2024 р.); II Всеукр. наук.-практ. конф. «Комплексне використання ресурсів довкілля», (Дрогобич, Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет», 20 листопада 2024 р.); X Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», (Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 27–28 березня 2025 р.); International Conference «European Green Dimensions: Fundamental, Applied, and Industrial Aspects», (Миколаїв, РМБСНУ, 5–7 June 2025); IX Міжнародний щорічний симпозіум – 2025 «Здоров'я довкілля та біобезпека: наука, інженерія та застосування» (Обудський університет, Будапешт, Угорщина, 08–09 травня 2025 р.); Ольвійський форум – 2025: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі: XXII Міжнар. наук. конф. : Радіаційна, техногенно-екологічна та біологічна безпека : стан, шляхи і заходи покращення, (м. Миколаїв, ЧНУ імені Петра Могили, 20 червня 2025 р.).

**Публікації.** Основні положення і результати дослідження викладені у 35 наукових і методичних працях, з яких 6 статей у виданнях, що індексуються у

базах даних SCOPUS/WOS, 4 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б».

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 290 машинописних сторінок (разом з додатками 310 машинописних сторінок), із яких основний зміст роботи викладено на 272 сторінках. У тексті дисертаційної роботи налічується 106 рисунків і 9 таблиць. Список використаних джерел містить 156 найменування, з яких 63 англійською мовою.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПИТАНЬ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

#### 1.1. Дослідження екологічної безпеки і небезпеки водних об'єктів у працях українських та зарубіжних учених.

Одне із завдань наукового дослідження щодо оцінювання впливу кліматичних змін на стан поверхневих водних ресурсів є аналіз літературних джерел щодо трактування понять екологічної безпеки та небезпеки гідроекосистем, вивчення їх рівня.

Аналізуючи та узагальнюючи праці багатьох відомих вітчизняних та зарубіжних учених (Адаменко Я. О. [76], Григор'єва Л. І. [14; 15], Кватернюк С. М. [130; 133], Масікевич Ю. Г. [43], Некос В. Ю. [52]. Петрук В. Г. [55], Погребенник В. Д. [57–59], Сафранов Т. А. [52; 76], Сніжко С. І. [80; 81]. Совгіра С. В. [82], Степаненко С.М. [37], Хільчевський В. К. [88–92], Чугай А. В. [85; 86], Шмандій В. М. [87; 136], Bueno R. [98], Empinotti V. L., Budds J. [107], Kapelewska A [117], Keeler B. L., Hamel P. [118], Staddon C. [139; 140], Sušnik J. [143]) тощо з питань екологічної безпеки та небезпеки, оцінювання стану гідроекосистем вважаємо виділити таке тлумачення означених понять.

Екологічна безпека – це стан, коли природне середовище забезпечує необхідні умови для життя, здоров'я та добробуту людського суспільства, а також забезпечує високий рівень збереження біорізноманіття та сталості екосистем. Екологічна безпека означає сталий (збалансований) розвиток, коли антропогенна діяльність не завдає шкоди природному середовищу, а враховує і зберігає його ресурси для майбутніх поколінь. Означене поняття охоплює такі аспекти:

- збереження природних ресурсів та біорізноманіття;
- запобігання антропогенному забрудненню та знищенню екосистем;

- раціональне (збалансоване) використання природних ресурсів;
- відповідальне ставлення громадян до збереження природних ресурсів та біорізноманіття (високий рівень екологічної свідомості).

Разом з поняттям «екологічна безпека» у науковій літературі широко використовується термін «екологічна небезпека», який трактується, як ситуація, або стан, коли існує потенційна загроза для природного середовища, що може призвести до шкідливих наслідків для людського суспільства, а також для біорізноманіття. Такий стан може охоплювати такі чинники, як забруднення повітря, води або ґрунту, втрата біорізноманіття, зміна клімату, радіаційна небезпека, руйнування екосистем та інші негативні впливи на довкілля. Екологічна небезпека може мати серйозні наслідки для здоров'я населення, економіки та загального стану навколишнього природного середовища і безпосередньо пов'язана із низьким рівнем екологічної свідомості громадян, а також неспроможністю держави здійснювати відповідний контроль за станом екосистем різного рівня та вживати відповідні дієві заходи щодо поліпшення стану довкілля. Важливо вживати заходи для попередження таких небезпек і мінімізації їхніх наслідків.

Суттєвого наукового значення у дослідженні екологічних проблем, пов'язаних з кліматичними змінами, зростаючого споживання природних ресурсів, менеджменту водних ресурсів, антропогенного впливу на стан водних об'єктів набули наукові праці багатьох закордонних учених. Проаналізуємо деякі з них.

Так, у працях Staddon C. подано соціо-економічні питання менеджменту водних ресурсів, структури водоспоживання у різних країнах світу [139]. У ґрунтовній праці [140] подано дослідження, яке пояснює ключові поняття з практичними прикладами та детальним і вичерпним висвітленням питань управління водними ресурсами з європейської точки зору. Подано коротку історію управління водними ресурсами, розглядаються основні принципи, що використовуються для управління водними ресурсами в її якісних і кількісних

аспектах. Під час розкриття питань управління водними ресурсами увага дослідника зосереджується на ролі гребель, приватизації, державної гідрополітики, питаннях змін клімату. Надається загальний огляд основних проблем управління водними ресурсами в різних географічних регіонах Європи.

У працях британських учених Tang, K. Tan, L., Yang, P. тощо [144; 145] для оцінювання екологічного стану водних екосистем велику увагу надається вивченню екології та біогеохімії планктону. Стверджується, що планктон, який включає віруси, бактерії, фітопланктон, зоопланктон найпростіших і багатоплідних, не тільки є основною частиною водної біомаси та основою водної харчової мережі, але є також лімітуючим чинником більшості біогеохімічних процесів у гідроекосистемах.

У дослідженнях Empinotti V.L, Budds J. подано зв'язок між водною безпекою та управлінням водними ресурсами на прикладі водної кризи в Сан-Паулу. Демонструється, як процеси та структури, які загалом характерні для «належного врядування», одночасно посилили наслідки посухи та обмежили реакцію на неї. Наводяться два споріднені аргументи: з одного боку, взаємовигідні комерційні відносини між урядом штату та комерційними компаніями; з іншого боку, досвід посухи легітимізував перехід до централізованого підходу, який ведеться зверху вниз [107].

Заслуговують на увагу дослідження німецьких учених Meyer, A.M., Klein, C., Fünfroeken, E., Kautenburger, R., Beck, H.P., які вивчають кореляційні зв'язки між хімічними компонентами, а також закономірності розповсюдження забруднювачів у водному середовищі, вивчають проблеми забруднення малих річок [123]. Такий підхід, на нашу думку, є цінним і може бути використаний у подальшому й у нашому дослідженні під час вивчення кореляційних зв'язків між екологічними чинниками, що визначають деякі характеристики клімату та параметрами якості водних екосистем.

Аналогічний принцип до визначення рівня екологічної безпеки водних ресурсів знаходимо у публікаціях Othman F., Eldin A. [129], де подано оцінку загального стану якості річкової води через індекс якості води (WQI), який складається з шести параметрів, а саме розчиненого кисню, біохімічного споживання кисню (БСК), хімічного споживання кисню (ХСК), зважених речовин, амоніачного нітрогену та рН тощо.

Польські дослідники Obolewski, K., Glińska-Lewczuk, K., Szymańska, M., Astel, A., Lew, S., Paturej, E. вивчаючи питання зеленої хімії водних об'єктів, здійснюють пошук закономірностей між вмістом хімічних компонентів водного середовища та його біологічною складовою [126].

Schickele, A., Leroy, B., Beaugrand, G., Francour, P., Raybaud, V. тощо досліджують питання впливу температури на морфологічний склад водних об'єктів [135].

У вітчизняній практиці особливого значення набули праці однієї з фундаторок сучасної гідроекології Денисової О.І., яка досліджувала закономірності формування гідрохімічного режиму водойм, колообігів та балансу речовин у водоймах сповільненого стоку за умов антропогенного впливу. Дослідницею здійснено прогнозування хімічного складу води дніпровських водосховищ та каналів півдня України [19].

Заслуговує на увагу фундаментальні праці Хільчевського В.К., Сніжка С.І., де ґрунтовно подано багатофакторність впливу на якість поверхневих вод [80; 88].

Ученими-фундаторами розглядаються теоретичні аспекти гідрохімії, а саме:

- аналіз складу води, її фізико-хімічних властивостей та взаємодій з навколишнім середовищем;
- методи визначення гідрохімічних показників, включаючи хімічний аналіз води, вимірювання різних параметрів якості води та їх інтерпретацію;

- аналіз регіональних гідрохімічних систем через оцінювання структури і динаміки хімічного складу водних ресурсів, враховуючи географічні, гідрологічні та антропогенні чинники;

- природні та антропогенні чинники, що впливають на гідрохімічні системи, включаючи кліматичні зміни, використання ґрунтових і підземних вод, забруднення водойм тощо.

У роботах Гребіня В.В., Хільчевського В.К вивчається регіональний ландшафтно-гідрологічний аналіз сучасного водного режиму річок України [18]. Так, авторами, відповідно до вимог Водної рамкової директиви, розроблено методику гідрографічного районування річок України, оцінювання стану водних екосистем тощо.

Васенко О.Г., Рибалова О.В., Коробкова Г.В. [7; 8] розробляють методики комплексного оцінювання стану водних об'єктів з урахуванням чинників деградаційних процесів, здійснюють науковий пошук у напрямку удосконалення методології встановлення екологічних норм якості поверхневих вод з урахуванням ландшафтно-географічних особливостей функціонування водних екосистем, ранжування пунктів спостережень.

Праця Чугай А. В. та Сафранова Т. А. [85] має фундаментальне значення для розробки методологічного апарату дисертації. Аналіз методів оцінювання техногенного впливу дозволяє обґрунтувати вибір специфічних індикаторів для аналізу стану водних ресурсів. Це забезпечує точність ідентифікації факторів ризику, що виникають при накладанні кліматичних змін на інтенсивне антропогенне навантаження.

Заслуговує на увагу дослідження Пономаренка Р.В., де з метою прогнозування зміни екологічного стану техногенно навантажених поверхневих водних об'єктів запропоновано критерій оцінки якісного складу вод, який враховує транскордонний вплив забруднюючих речовин, а також геоекологічні процеси. Дослідником розроблено методику порівняльної та прогнозної оцінки якості вод, з урахуванням впливу на них поллютантів

транскордонного походження, а також оригінальну інтегральну бальну оцінку існуючого екологічного стану поверхневого водного об'єкта. Така інтегральна оцінка враховує відношення модуля трансформації поллютантів, з урахуванням впливу на них транскордонних водних об'єктів. За визначенням автора, така усереднена оцінка дозволяє провести ранжування всіх виділених ділянок за рівнем техногенного впливу з їх водозбірної площі в межах розглянутого басейну. Автором встановлено, що прогнозування зміни якісного складу вод другої категорії (вода як природний ресурс, що формується під впливом техногенного навантаження) має проводитися на регіональному рівні в межах басейнового управління, з урахуванням впливу на них транскордонних водних об'єктів [60].

У науковій роботі Голодовської Л.Я. розглянуто басейновий принцип управління екологічною безпекою Західного Бугу (на прикладі Львівської області) [17]. Дослідницею побудовано профілі концентрацій забруднюючих речовин Західного Бугу. Авторкою встановлено тенденцію щодо зменшення використання води у зв'язку із зменшенням кількості тварин у приватних господарствах та загальним зменшенням кількості аграрних підприємств. Також дослідницею проведено оцінювання екологічної небезпеки від забруднень басейну Західного Бугу та ідентифікація джерел екологічної небезпеки. Показано, що значною мірою забруднення Західного Бугу відбувається унаслідок скидання неочищених господарсько-побутових стічних вод. Проблема забруднення Західного Бугу неочищеними господарсько-побутовими стічними водами є серйозною проблемою, яка впливає на екологічний стан річки та загальний екологічний баланс регіону. Неочищені стічні води містять різні види забруднюючих речовин, а саме, органічні забруднювачі, хімічні речовини та бактерії, які можуть серйозно загрожувати якості води та стану екосистем.

Вважаємо зазначити цінність роботи, яка має суто практично-прикладний характер з огляду розв'язання питання щодо підвищення

екологічної безпеки водних ресурсів через розв'язання проблеми повернення супутньо-пластових вод – це дослідження Німець Н.М. [53]. Авторкою, на основі прогнозних математичних розрахунків, доведено, що повернення супутньо-пластових вод у середовище може мати серйозні наслідки для водних ресурсів, включаючи забруднення ґрунтів, зниження якості ґрунтових та підземних вод, а також мати значний вплив на здоров'я людей та екосистем.

Забезпечення екологічної безпеки водного середовища через використання мікроводоростей присвячено дисертаційну роботу Синельникова О.Д. [78]. Автор переконливо доводить роль неконтрольованого розвитку ціанобактерій у збільшенні ступеня екологічної небезпеки в акваторіях Дніпровських водосховищ у Кременчуцькому територіально-виробничому комплексі. Показано, що Дніпровський каскад ГЕС, як система гідроелектростанцій на річці Дніпро та її притоках, яка маючи декілька великих та середніх ГЕС, розташованих вздовж річки, радикально змінили біоту річки. Результатом створення нових взаємозв'язків у новій біоті та створення нової біотичної ієрархії став бурхливий неконтрольований розвиток синьо-зелених водоростей, які заповнили водосховища Дніпра.

У контексті дослідження особливу наукову та практичну цінність становлять роботи Кватернюка С.М. та колег [130; 133], присвячені відновленню та захисту екосистеми річки Південний Буг. Ці праці слугують доказовою базою для розробки стратегій адаптації до кліматичних змін. Особливої актуальності набуває розробка авторів щодо використання штучних водно-болотних угідь (constructed wetlands) для очищення річкових вод від азотних сполук [133]. Оскільки кліматичні зміни провокують нерівномірність опадів та посилення дифузного стоку з агроландшафтів, запропоновані природоорієнтовані рішення можна розглядати як найбільш перспективний інструмент підтримки екологічної безпеки. Інтеграція результатів цих досліджень дозволяє не лише проаналізувати деградаційні процеси річки, а й запропонувати конкретні рекомендаційні заходи. Це

забезпечує перехід від теоретичного моделювання кліматичних впливів до обґрунтування дієвих механізмів відновлення якості водних ресурсів у вразливих регіонах.

Проблемам зниження рівня екологічної небезпеки гідроекосистем через упровадження комплексних фізико-хімічних методів очищення стічних вод присвячено низьку робіт українських дослідників, а саме: Баландюха Ю.А. [3], Босака П.В. [6], Вронської Н.Ю. [11], Грайновської І.В. [13], Калмикової Ю.С. [35], Милянник О.В. [47], Середи А.С. [77] тощо.

До того, можна відмітити роботу Радіонова М.П. з проблем нітрифікації водних об'єктів, де питання екологічної безпеки розглядається з огляду впливу нітрифікуючої мікрофлори при сполученні споруд водопідготовки і природних водних об'єктів, як джерел водопостачання [66].

Заслуговує на увагу дослідження забруднення донних відкладів, які можуть мати різноманітний вплив на стан водних ресурсів. Можна виділити основні аспекти цього впливу:

Забруднення води через донні відклади, які можуть містити різні забруднюючі речовини, такі як токсичні хімікати, важкі метали, органічні речовини тощо, які можуть потрапляти у воду та забруднювати її. Це може негативно впливати на якість води та здоров'я екосистем.

Зміна гідродинаміки, коли товсті шари донних відкладів можуть змінювати гідродинаміку водного тіла. Це може призводити до змін у течіях, розподілі та зберіганні води, що може впливати на різноманіття екосистем та водний режим.

Зниження рівня кисню через розклад органічних матеріалів у донних відкладах може призводити до витрати кисню відносно до водного тіла. Це може призвести до недостатнього кисню в воді, що загрожує життю водних організмів та веде до утворення "мертвих зон".

Накопичення токсичних речовин через донні відклади, які можуть стати місцем накопичення сполук, таких як пестициди, важкі метали, радіоактивні

речовини тощо, що впливатимуть на якість води та безпеку для здоров'я людей та екосистем.

Для забезпечення стабільного стану водних ресурсів важливо враховувати вплив донних відкладів та приділяти увагу їх управлінню та моніторингу. Це може включати програми очищення донних відкладів, регулярний моніторинг якості води та гідродинаміки, а також вжиття заходів для запобігання забрудненню та збереження екологічної стійкості водних екосистем.

Для дослідження впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів особливої значимості набувають Тараймович І. В., Совгіри С. В. та Н. Ю. Душечкіної [74; 82], які присвячені впливу воєнних дій на водні екосистеми. Автори розкривають механізми трансформації якості гідроекосистеми за умов надзвичайних ситуацій. Для дисертації цей аспект є критичним, оскільки кліматичні зміни (зокрема, маловоддя та гідрологічні посухи) суттєво обмежують здатність річок до самоочищення від специфічних забруднювачів воєнного генезу. Це дозволяє розширити наукову аргументацію щодо кумулятивного ефекту, коли кліматичний стрес посилюється техногенним тиском, створюючи критичні загрози для екологічної безпеки.

Дослідження глобальних наслідків накопичення важких металів у прісноводних системах [82] надає методологічну базу для аналізу міграції токсичних елементів. У контексті дисертації ці дані є вагомими для обґрунтування того, що зміна температурного режиму та хімічного складу води (через випаровування та концентрацію солей) призводить до підвищення рухливості важких металів.

Вагомий внесок у розробку обраної тематики зроблено у дослідженні щодо формування поля забруднення донних відкладів важкими металами Доліна В.В. [23], Смирнова В.М. [79] тощо. Дослідники вивчають різні аспекти формування поля забруднення, а саме:

- джерела забруднення через визначення джерел викидів важких металів у водойми та вивчають механізми їх потрапляння до донних відкладів.
- просторове розповсюдження через аналіз розподілу важких металів у донних відкладах, визначаючи зони найбільшого забруднення та чинники, що впливають на цей розподіл.
- визначення наслідків забруднення донних відкладів важкими металами для водних організмів, біологічної різноманітності та здоров'я людей, які користуються водними ресурсами.

Доведено, що міграційна здатність важких металів у донних відкладах Бузького лиману зростає у ряду  $Pb < Fe < Cr < Ni < Cu < Zn < Mn$ , а забруднення донних відкладів локалізовано саме у зонах техногенного впливу [79].

У межах дослідження особливу увагу заслуговують праці Григор'євої Л. І., Алексєєвої А. О. та колег [15], чії результати дозволяють глибше розкрити взаємозв'язок між гідрологічним режимом та радіоекологічною стійкістю водних систем. Зокрема, вивчення динаміки тритію в районі Южноукраїнської АЕС має фундаментальне значення. Оскільки тритій є складовою самої молекули води, він виступає унікальним трасером гідрологічних процесів. У контексті кліматичних змін, що зумовлюють аридизацію та порушення балансу стоку, ці дані дають змогу, як зниження водності річок впливає на здатність екосистеми до розбавлення техногенних домішок.

Цікавий підхід до визначення екологічної безпеки гідроекосистеми через метод токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів подано у дослідженні Безсонова Є.М. [4]. Автором розроблено комплексний метод оцінювання рівня екологічної безпеки водних систем на основі речовинних та енергетичних закономірностей їхнього функціонування на прикладі річки Південний Буг. Автором оригінально використано токсикологічні та енергетичні функції відгуку стенобіонтів, як найчутливіших до

антропогенного впливу живих організмів, і ланок ланцюга живлення водної екосистеми відповідно.

Сам метод токсико-енергетичного відгуку (ТЕВ), як методологічний підхід у вивченні впливу токсичних речовин на екосистеми, має широкі перспективи у процесі оцінювання токсичності різних хімічних речовин та їх вплив на живі організми та середовище, враховуючи енергетичні аспекти цих процесів. Автор виділяє основні принципи методу ТЕВ, а саме:

Інтеграція токсичності та енергетики. Метод ТЕВ поєднує оцінку токсичності речовин та їх енергетичний вплив на організми та екосистеми, що дозволяє повніше розуміти вплив токсичних речовин на живі системи та їх функціонування.

Врахування енергетичних витрат через врахування енергетичних витрат організмів на реакції на токсичні речовини, такі як метаболічні процеси та компенсаційні механізми, що допомагає оцінити загальний вплив токсичності на енергетичний баланс організму.

Мультидисциплінарний підхід через використання знань з різних наукових дисциплін, таких як токсикологія, екологія, біоенергетика та інші, для розуміння складних взаємозв'язків між токсичністю та енергетикою.

Практичні застосування, що означає, що метод ТЕВ може бути використаний для прогнозування впливу токсичних речовин на екосистеми, визначення меж токсичних концентрацій та розробки стратегій управління забрудненням.

Отже, метод токсико-енергетичного відгуку є потужним інструментом під час оцінювання рівня екологічної небезпеки гідроекосистем.

У продовженні вивчення питання щодо інтерпретації поняття «екологічна безпека» водних систем, вважаємо зазначити дослідження Крисінської Д.О. [40], за яким рівень екологічної безпеки може бути оцінений за допомогою функції ризику, що враховує ймовірність виникнення певної негативної події та її вплив на довікля. Функція ризику зазвичай

визначається, як добуток ймовірності події та її наслідків, і може бути використаний для оцінювання рівня екологічної безпеки у конкретному регіоні або системі.

Авторка оцінює рівень екологічної безпеки через функцію ризику виникнення захворювань канцерогенного, неканцерогенного походження. До того, дослідниця акцентує увагу на визначенні меж ризику, а саме у межах діапазону – це буде «безпечно», поза межами діапазону – «небезпечно». Аналогічний підхід щодо оцінювання екологічного ризику простежується у працях Бойко Т.В. і Абрамової А.О. [5], Назарука М.М. і Боти О.В. [51], де на етапах проєктування запропоновано використання індексного підходу, як методу кількісної оцінки впливів на довкілля.

Основні складові функції ризику для екологічної безпеки охоплюють:

- ймовірність події, як ймовірність виникнення небажаної події, такої як забруднення водних ресурсів. Чим вища ймовірність такої події, тим вищий рівень ризику;
- наслідки події, як масштаб та серйозність наслідків події для водного середовища.
- функція ризику, як добуток ймовірності події та її наслідків. Вона може бути використана для порівняння різних сценаріїв або стратегій управління ризиком та визначення пріоритетів у сфері екологічної безпеки.
- управління ризиком через визначення оптимальних стратегій управління ризиком, такі як впровадження заходів щодо попередження подій, зменшення їх ймовірності або мінімізація наслідків.

Отже, функція ризику є важливим інструментом для оцінювання рівня екологічної безпеки та розробки стратегій екологічного менеджменту. Вона дозволяє зрозуміти та оцінити потенційні небезпеки та приймати відповідні заходи для їх попередження або зменшення.

У дослідженні Колісник А.В. використано наскрізний еколого-географічний підхід до конструктивно-географічних досліджень

антропогенних чинників, їх впливу саме на басейнові природно-територіальні комплекси на прикладі Вінницької області та оцінюванні якості річкових вод [39]. Дослідницею удосконалено методика оцінювання якості поверхневих вод за відповідним категоріями; нею запропоновано враховувати ГДК для водних об'єктів рибогосподарського призначення та ефект сумарної дії показників. Удосконалена методика розбиває показники на 8 блоків: 1) за критеріями мінералізації; 2) за трофо-сапробіологічними показниками; 3) за інгредієнтами з загальносанітарною лімітуючою ознакою шкідливістю; 4) за критеріями з токсикологічною лімітуючою ознакою шкідливістю; 5) за показниками санітарно-токсикологічною дією лімітуючою ознакою шкідливістю; 6) за критеріями з органолептичною лімітуючою ознакою шкідливістю; 7) за інгредієнтами з рибогосподарською лімітуючою ознакою шкідливістю; 8) за критеріями специфічних показників радіаційної дії [39].

Збільшення кількості блоків щодо оцінювання якості поверхневих вод нагромаджує методика і робить її складнішою. На нашу думку, достатньо враховувати інтегровані показники якості води, на значення яких впливає увесь спектр органолептичних, фізичних, хімічних показників.

На основі аналізу і систематизації літературних джерел, окреслимо трактування понять: «екологічна безпека водних ресурсів»; «екологічна небезпека водних ресурсів».

Екологічна безпека водних ресурсів – це забезпечення сталого та екологічно безпечного використання водних ресурсів в усіх сферах життєдіяльності людей, при цьому зберігаючи екологічну рівновагу водних екосистем. Це означає, що водні ресурси мають бути доступними для соціуму і потреб промисловості, а їх якість має відповідати нормам, які гарантують безпеку для здоров'я людей та екосистем різного рівня. Екологічна безпека водних ресурсів також включає заходи щодо запобігання забрудненню водних об'єктів, їх охорони, раціонального використання і збереження для майбутніх поколінь.

Екологічна небезпека водних ресурсів – це потенційна загроза для якості води та сталості водних екосистем, що може призвести до негативних наслідків для здоров'я людей, флори, фауни та екосистем загалом. Екологічна небезпека охоплює такі компоненти:

- забруднення води;
- втрата біорізноманіття;
- зниження водності;
- зміна морфологічного, гідрохімічного, біологічного складу;
- руйнування водних екосистем через забудову берегових зон, побудова гребель, збройні конфлікти;
- зміни клімату.

Окреслюючи значення водних ресурсів, підкреслимо, що вода є стратегічним і найважливішим ресурсом для життя на Землі. Вона є необхідною для всіх аспектів життя, включаючи забезпечення питною водою, зрошення сільськогосподарських угідь, виробництво електроенергії, промислові процеси та інші сфери. Недостатність доступу до чистої води може призвести до серйозних проблем здоров'я, економічних труднощів та соціальних конфліктів. Тому ефективне управління водними ресурсами є критично важливим завданням для забезпечення сталого розвитку і збереження природного середовища.

Питання безпеки водних ресурсів включають різноманітні аспекти, а саме:

- доступ до чистої питної води;
- забезпечення водопостачання для сільськогосподарських потреб;
- індустріальне використання води;
- екологічні аспекти та ризики пов'язані зі змінами клімату.

Виділяємо основні виклики у сфері безпеки водних ресурсів:

Доступність питної води. Багато регіонів світу стикаються з проблемою недостатньої доступності до чистої питної води, що може призвести до серйозних проблем здоров'я та гігієни.

Дійсно мають місце конфлікти через водні ресурси. Водні джерела часто стають об'єктом конфліктів між різними суспільствами або країнами, особливо в регіонах, де водні джерела межують або перетинаються.

Не викликає сумнівів й факт забруднення води. Скиди промислових і побутових стічних вод, а також забруднення від сільськогосподарської діяльності можуть серйозно загрожувати якості води та екосистемам водойм.

Актуальними є питання зміни клімату, які можуть призвести до змін у режимі опадів, висихання джерел води та змін в розподілі водних ресурсів, що впливає на доступність води для різних секторів.

Має місце нестабільність інфраструктури. Нестабільні політичні та економічні умови можуть призвести до недостатнього управління водними ресурсами та інфраструктурою водопостачання, що загрожує безпеці водних ресурсів.

Розв'язання цих проблем потребує комплексного підходу, який включає співпрацю між різними секторами суспільства, урядами, міжнародними організаціями та активну участь громадськості.

Екологічна безпека водних ресурсів охоплює заходи, які спрямовано на збереження та відновлення екосистем водних систем, забезпечення якості води та збереження біорізноманіття.

Окреслимо основні аспекти екологічної безпеки водних ресурсів.

Охорона водних екосистем через збереження річок, озер, водосховищ та морських біотопів є критично важливим для підтримання екологічної рівноваги, що включатиме створення заповідників, реставрацію природних водних середовищ та контроль за їх експлуатацією.

Забезпечення якості води через запобігання забрудненню водойм хімічними речовинами, бактеріальними та іншими забруднюючими

речовинами є ключовим аспектом екологічної безпеки водних ресурсів, що включає контроль за викидами стічних вод, агрохімікатами тощо.

Управління водними ресурсами через ефективне управління, включаючи стале використання води для пиття, сільськогосподарських потреб, промисловості та інших галузей, є важливим аспектом екологічної безпеки.

Адаптація до змін клімату впливатиме на доступність та якість водних ресурсів, тому є нагальна потреба у розробці та впровадженні відповідних дієвих стратегій задля зменшення негативних впливів змін клімату на водні екосистеми.

Системи моніторингу якості води та екологічного стану водних ресурсів дозволяють вчасно виявляти проблеми та вживати відповідних заходів для їх вирішення.

Забезпечення екологічної безпеки водних ресурсів вимагає співпраці між урядовими органами, громадськістю, галузевими організаціями та міжнародними структурами для впровадження інтегрованих підходів до управління водними ресурсами.

Визначено, що басейновий підхід до управління екологічною безпекою водних ресурсів дозволяє ефективно враховувати комплексність водних систем та забезпечує сталість та ефективність управління цими ресурсами. Басейновий принцип управління екологічною безпекою – це підхід до управління водними ресурсами, який базується на урахуванні гідрографічних басейнів як основної одиниці планування та управління. Основні принципи цього підходу включають:

Інтегроване управління, що означає, що всі аспекти управління, включаючи використання води, охорону середовища та розробку інфраструктури, розглядаються в контексті впливу на весь гідрографічний басейн.

Участь зацікавлених сторін через управління водними ресурсами за принципом басейну підтримує широку участь зацікавлених сторін, таких як урядові органи, місцеві громади, промислові підприємства та неприбуткові організації. Це сприяє збалансованому управлінню і врахуванню різних інтересів. Важливим елементом басейнового підходу є системи моніторингу та оцінки стану водних ресурсів у всьому басейні, що дозволяє вчасно виявляти проблеми та приймати відповідні заходи.

Результат аналізу дефініцій «екологічної безпеки» і «небезпеки водних об'єктів» у працях українських та зарубіжних учених свідчить, що екологічна безпека водних ресурсів розглядається як ключова складова сталого розвитку, тісно пов'язана зі змінами клімату та антропогенним навантаженням.

Суттєва різниця між поняттями «екологічна безпека водних ресурсів» і «екологічна небезпека водних ресурсів» полягає в наявності або відсутності загроз для стану водних екосистем та здоров'я людини (табл. 1.1). Визначено, що екологічна безпека — це позитивний, контрольований стан, а екологічна небезпека — це ризик або вже наявна загроза, яка потребує реагування та усунення.

Отже, на основі ретроспективного критичного аналізу літературних джерел щодо питання екологічної безпеки і небезпеки водних об'єктів у працях українських та зарубіжних учених, визначено сучасні наукові підходи до оцінки якості водних ресурсів, включаючи індексні, токсико-енергетичні та ризик-орієнтовані методи. Дослідження ще раз доводять важливість басейнового принципу управління та інтегрованого моніторингу. Актуальною проблемою є задачі з побудови моделей впливу різних чинників, зокрема, кліматичних змін на поверхневі води задля підвищення екологічної безпеки та сталого водокористування.

Таблиця 1.1

Різниця між поняттями «екологічна безпека водних ресурсів» і  
«екологічна небезпека водних ресурсів»

Критерій	Екологічна безпека водних ресурсів	Екологічна небезпека водних ресурсів
Стан середовища	Сталий (збалансований), підтримує екологічну рівновагу.	Потенційно загрозливий, дестабілізований
Вплив на людина та довкілля	Забезпечує здоров'я, добробут і збереження біорізноманіття.	Спричиняє ризики для здоров'я, руйнування екосистем і втрату біорізноманіття
Джерела впливу	Раціональне природокористування, ефективне управління, моніторинг.	Антропогенне забруднення, неефективне управління, відсутність контролю.
Ціль	Гарантувати якісну воду, запобігати деградації.	Виявити, оцінити та мінімізувати шкідливі впливи на водне середовище.
Приклади прояву	Чисті водойми, дотримання норм, інтегроване управління.	Забруднення, евтрофікація, неконтрольовані скиди, зниження водності, зміна клімату.

## 1.2. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та світі.

Наступною частиною дослідження було вивчення та аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та зарубіжних країнах. Основним документом, який регламентує якість поверхневих вод в Європейському Союзі, є Рамкова директива про води (Water Framework Directive або WFD) [24]. Ця директива була прийнята в 2000 році і встановлює загальний підхід до охорони та управління водними ресурсами в ЄС. Водна Рамкова Директива (повна назва Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері

водної політики) визначає загальні принципи охорони водних ресурсів у ЄС, включаючи господарсько-побутові води. До того, нормативи до якості поверхневих вод також регулюються Директивою Ради 91/271/ЄС від 21 травня 1991 року про очищення стічних вод, а також Директивою Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 року про якість води, призначеної для споживання людиною.

Водною Рамковою Директивою (ВРД) ЄС запроваджено принципово новий підхід до системи управління водними ресурсами – інтегроване управління водними ресурсами за басейновим принципом [1; 24].

Кожна країна, яка підписала зобов'язання щодо реалізації ВРД має виділити на своїй території райони річкових басейнів, які містять один або декілька річкових басейнів разом з пов'язаними з ними підземними та прибережними водами. Для кожного району річкового басейну розробляють план управління, який містить аналіз характеристик району річкового басейну і стан води та програми заходів для досягнення цілей ВРД. Мета, поставлена Директивою, є досить амбітною. За усі країни – члени ЄС мали забезпечити досягнення усіма поверхневими та підземними водними об'єктами доброго екологічного та хімічного статусу.

У 2014 р. Україна підписала Угоду про асоціацію з Європейським Союзом та його державами-членами. Підписання цього документу зобов'язує нашу країну запроваджувати європейські стандарти у різних сферах суспільного життя, зокрема, у сфері управління водними ресурсами, їхньої охорони та запровадження заходів із забрудненням вод.

У червні 2022 року Європейська Рада надала Україні статус кандидата на вступ в ЄС. Такий статус надає Україні завдання не лише наблизити своє законодавство до законодавства ЄС (директив, регламентів, рішень), а й правову та інституційну систему. Наближення має три етапи: транспозицію; впровадження; виконання та контроль.

Кількість актів ЄС, які мають форму регламентів у довкіллевій та кліматичній сфері, постійно зростає. У деяких напрямках (наприклад, хімічні речовини, кліматичні питання) регулювання здебільшого здійснюється за допомогою регламентів. Питання наближення національного законодавства до регламентів ЄС є актуальним для України як країни-кандидата, вимагатиме від неї визначення шляхів транспозиції, впровадження та виконання [1; 50]. Так, Європейський кліматичний закон передбачає оцінювання Європейською Комісією національних кліматичних заходів, надання нею рекомендацій державі-члену та умов врахування цих рекомендацій [36]. Наразі ця частина регламенту не може бути імплементована Україною до вступу в ЄС.

В Україні план імплементатії ВРД ЄС затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 р. № 371 «Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементатії деяких актів законодавства ЄС».

Стан поверхневих вод визначають за екологічним та хімічним статусом. Стан підземних вод визначають за хімічним статусом та запасами. В Україні виділено 9 районів річкових басейнів. Нинішня система моніторингу в Україні налічує близько 400 пунктів спостережень за 16 показниками.

Нині відбувається зміщення акцентів: від оцінювання якості середовища як ресурсу в бік оцінювання стану середовища як місця мешкання людини та біоти. Відбувається перехід від хімічного контролю якості води як ресурсу, на оцінювання екологічного стану гідроекосистем, що означає заміну критеріального підходу, спрямованого на деякі норми якості води (ГДК, ГДС та ін.), інтегрованим підходом.

Стан поверхневих вод визначають за екологічним та хімічним статусом. Екологічний статус визначають, насамперед, за станом біологічних елементів (риба, донні безхребетні, водна флора та ін.) і оцінюють за п'ятьма класами: відмінний; добрий; задовільний; поганий; дуже поганий.

Хімічний статус визначають за пріоритетними поллютантами. До них належать важкі метали (Кадмій, Плюмбум, Нікол, Меркурій) та органічні речовини, які є токсичними для живих організмів. Разом до переліку пріоритетних речовин нині віднесено 45 речовин: 33 – Директивою 2008/105/ЄС про екологічні стандарти у сфері водної політики та 12 – Директивою 2013/39/ЄС, яка вносить зміни до ВРД та Директиви 2008/105/ЄС [104; 105].

Хімічний статус оцінюють лише за двома класами: добрий; неспроможний досягнути доброго. Стан підземних вод визначають за хімічним статусом та запасами.

В основі класифікації екологічного статусу поверхневих вод покладено референційні умови, які мають бути визначені для кожного типу поверхневих вод. Референційні умови – це умови, що відбивають стан навколишнього природного середовища за відсутності або мінімального антропогенного впливу. Задля визначення референційних умов проводиться ретроспективний аналіз гідроекосистеми та за можливості палереконструкція останньої, після того здійснюють моделювання природних закономірностей змін гідробіологічних параметрів.

Біологічні оцінки виражаються як екологічні коефіцієнти якості (EQR) – визначені як наявний стан/очікуваний стан.

При проведенні моніторингу визначаються, насамперед, біологічні елементи якості, а також гідроморфологічні, фізико-хімічні і специфічні умови при відмінному екологічному стані.

Для штучно змінених поверхневих вод визначається максимальний екологічний потенціал (МЕП).

Визначено, що моніторинг вод – це система спостережень, збирання, обробки, збереження і аналізу інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних рішень. До видів державного моніторингу

поверхневих та підземних вод належать: діагностичний; операційний; дослідницький.

Діагностичному моніторингу підлягають усі масиви поверхневих та підземних вод. Він здійснюється для доповнення та підтвердження антропогенного впливу на стан поверхневих та підземних вод; розроблення програми державного моніторингу; визначення референційних умов та оцінювання їх довгострокових змін, а також здійснення моделювання стану вод у результаті природних змін та антропогенного впливу.

Для шестирічної системи моніторингу, діагностичний моніторинг для поверхневих вод здійснюється 1-й та 4-й рік, а для підземних вод – 1-й і 2-й рік.

Операційному моніторингу підлягають усі масиви поверхневих та підземних вод, де спостерігається не досягнення доброго екологічного статусу, а також такі масиви вод, де забір води упродовж року становить більше, ніж 100 м<sup>3</sup>/добу.

Операційний моніторинг здійснюють для визначення екологічного та хімічного станів вод; оцінювання змін у стані вод під час проведення заходів, передбачених планом управління річковим басейном; визначення довгострокових тенденцій зміни концентрацій забруднюючих речовин під впливом антропогенної діяльності.

Операційний моніторинг для поверхневих вод здійснюється на 2-й, 3-й, 5-й і 6-й рік, а для підземних вод на 3-й, 4-й, 5-й і 6-й рік шестирічної програми управління.

Дослідницький моніторинг здійснюється для усіх масивів вод, без конкретних термінів за потребує. Основні завдання дослідницького моніторингу полягають у визначенні причин погіршення стану водних об'єктів, з'ясування масштабів та наслідків антропогенного забруднення вод, розрахунок екологічних ризиків, пов'язаних із забрудненням вод.

Перший етап реалізації Директиви в Україні полягає у прийнятті національного законодавства та визначення уповноваженого органу; закріпленні на законодавчому рівні та визначенні одиниці гідрографічного районування території країни та розробленні положення про басейнове управління з покладанням на нього відповідних функцій. Наступний етап – у визначенні районів річкових басейнів та створенні механізмів управління міжнародними річками, озерами та прибережними водами; аналізі характеристик районів річкових басейнів та запровадження програм моніторингу якості води. Далі відбуватиметься підготовка планів управління басейнами річок, проведення консультацій з громадськістю та публікація цих планів.

З 2019 р. в Україні стартував новий порядок моніторингу поверхневих, підземних та морських вод. Цей порядок відповідає директивам ЄС, запроваджує чітку процедуру та прибирає функції дублювання між різними державними установами. Завдяки новому порядку моніторингу буде отримано дані, необхідні для розробки Планів управління річковими басейнами та Морської Стратегії.

Існуюча система моніторингу передбачає чіткий розподіл обов'язків між організаціями, які визначають показники, без дублювання повноважень, розширений список біологічних, гідроморфологічних, хімічних і фізико-хімічних показників для моніторингу, запровадження шестирічного циклу моніторингу, введення класифікації стану вод: 5 класів екологічного стану і 2 класи хімічного стану, збільшення кількості пунктів моніторингу вод з сотень до декількох тисяч. Означені заходи дозволять наблизити Україну до стандартів ЄС.

Система моніторингу у країнах ЄС відрізняється системністю, систематичністю, широкою розгалуженістю постів спостережень, інформативністю та оперативністю.

В Україні, згідно Статті 35 Водного кодексу, виокремлюють такі види поверхневих вод, як господарсько-побутових потреб, а також рибогосподарського призначення.

Нормативи якості водних об'єктів встановлені відповідно до окремих категорій водокористування, а саме: категорії водокористування водних об'єктів або їх частин у якості джерела для централізованого або нецентралізованого питного водопостачання, а також для водопостачання підприємств харчової промисловості; категорії водокористування водних об'єктів або їх частин для господарсько-побутового, водокористування в оздоровчих, рекреаційних, спортивних цілях, а також для водних об'єктів в межах населених пунктів.

Господарсько-побутові води – це води, які виникають в результаті побутової і господарської діяльності людей, що може охоплювати води, які використовуються в побуті (наприклад, для пиття, приготування їжі, прийому душу, прання тощо), а також води, що виникають в результаті діяльності різних господарських підприємств та установ.

Визначення норм для господарсько-побутових вод регулюється різними законами та нормативними документами в кожній країні. Для України – це: Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", який регулює аспекти охорони водних ресурсів та встановлює вимоги до якості води, включаючи господарсько-побутові води; Санітарні норми та правила "Водопостачання і водовідведення" (СНіП 2.04.02-84), що містять вимоги до якості питної води та стічних вод; Водний кодекс України [10]; Наказ МООЗ «Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення» [8; 34; 63] тощо.

Водний кодекс України є ключовим правовим актом, який регулює водні відносини в Україні. Водний кодекс регулює використання та охорону водних

ресурсів, забезпечуючи стале та раціональне використання води для різних галузей економіки та збереження водних екосистем [10].

У табл. 1.2 подано порівняльний аналіз основних документів, які визначають норми до якості водних ресурсів, включаючи господарсько-побутові води [46; 109; 125].

Світова практика встановлення нормативів якості води ґрунтується на досвіді провідних країн світу, зокрема США, де діє закон про чисту воду (Clean Water Act – CWA). Цей закон встановлює базову структуру для регулювання викидів забруднюючих речовин у води Сполучених Штатах і регулювання стандартів якості поверхневих вод. Основа CWA була прийнята в 1948 році і називалася Федеральний закон про контроль забруднення води, але Закон був значно реорганізований і розширений в 1972 році. «Закон про чисту воду» став загальною назвою Закону з поправками в 1972 році [107]. Також у США діє Національний стандарт з ефлуентів для господарсько-побутових очисних споруд (National Effluent Limitation Guidelines for Municipal Wastewater Treatment Plants), який встановлює конкретні обмеження для різних параметрів в господарсько-побутових стічних водах [106].

Таблиця 1.2

Основні документи, які визначають норми до якості водних ресурсів,  
включаючи господарсько-побутові води

Україна	ЄС	США
1	2	3
Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».	Директива 2008/105/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 16 грудня 2008 року про стандарти якості навколишнього середовища у сфері водної політики [104].	Закон про чисту воду (Clean Water Act) [99].

## Продовження табл.1.2

1	2	3
Водний кодекс України [10].	Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики) [24].	Національний стандарт з ефлуентів для господарсько-побутових очисних споруд (National Effluent Limitation Guidelines for Municipal Wastewater Treatment Plants) [106].
Наказ МОЗ «Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення від 2 травня 2022 р. № 721 [63].	Директива Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 року про якість води, призначеної для споживання людиною.	Програма дозволів на викиди (National Pollutant Discharge Elimination System - NPDES) Розділ 402 Закону про чисту воду встановлює систему дозволів для організацій і підприємств, які викидають забруднюючі речовини у водні об'єкти [149].
Санітарні норми та правила «Водопостачання і водовідведення» (СНіП 2.04.02-84) [64].	Директива Ради 91/271/ЄС від 21 травня 1991 року про очищення стічних вод [25].	Закон про контроль над токсичними речовинами – TSCA [141].
Наказ МОЗ «Про затвердження державних санітарних правил планування та будови населених пунктів» №173 від 19.06.1996 р. [64]	Директива Ради 75/440/ЄЕС від 16 червня 1975 року щодо якості, необхідної для поверхневої води, призначеної для забору питної води в державах-членах [105].	Закон про комплексне реагування навколишнього середовища, компенсацію та відповідальність – CERCLA [138].

Закон про чисту воду в США (Clean Water Act) регулює викиди забруднюючих речовин у водні тіла та встановлює норми для забезпечення якості води. Основні положення цього закону визначаються в Статті 402 та Статті 303. Основні аспекти Clean Water Act: кожний штат має встановлювати власні норми якості води для своїх водойм, які визначають припустимий рівень забруднення різними речовинами. Ці норми мають бути розроблені з урахуванням різноманітних видів використання води, таких як питна вода, риболовля, купання тощо; закон вимагає від штатів розробляти та виконувати програми моніторингу для визначення рівнів забруднення та ефективності заходів з їхнього зменшення; згідно з розділом 402, дозволи на викиди визначають умови, які обов'язково дотримуватися для підприємств та інших джерел забруднення перед тим, як вони можуть викидати забруднюючі речовини у водні тіла; закон дозволяє регулювати викиди особливо небезпечних речовин та визначає обов'язки для їхнього контролю та управління; закон встановлює механізм обміну інформацією між федеральним, штатним та місцевим рівнями для забезпечення відповідного моніторингу та виконання вимог.

Отже, ці норми та положення допомагають забезпечити воду в США належної якості та захистити водні ресурси від забруднення.

Порівняльну характеристику нормативів якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб в Україні та світі подано у табл. 1.3. Оскільки стандарти якості води для кожного штату можуть відрізнятися, у табл. 3 наведено показники для штату Огайо [127; 128; 138]. Штат Огайо США обрано на підставі того, що він належить до подібної географічно-кліматичної зони України.

Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод, які запроваджено в Україні, країнах ЄС та США (на прикладі штату Огайо) дозволяє зробити такі висновки. По багатьох компонентах якості нормативи ЄС та США є більш жорсткими, особливо по таких показниках, як: ХСК, БСК,

хлориди, сульфати, фосфати, нітрати, нітрити, амоній, хром, меркурій, нафтопродукти. Проте, по таких показниках, як мінералізація і купрум, нормативи якості в Україні є суворішими. До таких інтегрованих показників якості, як рН, жорсткість існують майже однакові вимоги.

Таблиця 1.3

Порівняльна характеристика нормативів якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб в Україні та світі

№/п	Показник	Україна	ЄС	США
1	2	3	4	5
1.	Температура води, °С	-	-	-
2.	Колір, см	10	без аномалій	15
3.	рН	6,5–8,5	6,0–9,0	6,5–8,5
4.	Жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	7	12	7
5.	Лужність, мг/дм <sup>3</sup>	-	-	400
6.	Кальцій, мг/дм <sup>3</sup>	200	150	160
7.	Магній, мг/дм <sup>3</sup>	50	-	100
8.	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	1000	1500	1500
9.	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	350	200	250
10.	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	500	150	250
11.	Сульфідиди, мг/дм <sup>3</sup>	0		-
12.	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	45	50	0,01
13.	Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	3,3	-	0,001
14.	Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	3,5	0,2	0,05
15.	Ціаніди, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,05	0,025
16.	Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	0,75+фон (30)	-	-
17.	Розчинний кисень, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	≥4	-	≥6
18.	БСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	≤ 6 (при 20°С)	-	≤3 (при 20°С)
19.	ХСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	30	-	16
20.	Амоній-йони, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,1	0,25
21.	Ферум загальний, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,1	0,3
22.	Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	-	0,01
23.	СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,3	-
24.	Хром(+3), мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,02	0,001
25.	Хром(+6), мг/дм <sup>3</sup>	0,05		
26.	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1,00	0,50	5,00
27.	Купрум, мг/дм <sup>3</sup>	1,00	0,02	1,30

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5
28.	Алюміній, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,2	0,2
29.	Феноли, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,004
30.	Кадмій, мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,005
31.	Нікол, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	-	0,610
32.	Меркурій, мг/дм <sup>3</sup>	0,0005	0,0005	0,000012
33.	Коліформи кількість/дм <sup>3</sup>	≤100	50/100 см <sup>3</sup>	130/100 см <sup>3</sup>

*Примітка:*

- - норматив не визначено.

До вступу України до ЄС країна має можливість повністю або частково імплементувати регламенти ЄС, урахувавши її міжнародні зобов'язання, національні можливості. Проте, частину регламентів Україна не зможе імплементувати з огляду на управління відповідними механізмами на рівні ЄС та необхідності прийняття рішень установами чи органами ЄС.

Проведений порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та світі виявив значні відмінності та шляхи для гармонізації українського законодавства зі стандартами ЄС. В ЄС основним документом, що регламентує якість поверхневих вод, є Водна рамкова директива (WFD), прийнята у 2000 році. Вона встановлює інтегрований підхід до управління водними ресурсами за басейновим принципом. Метою ВРД є досягнення всіма поверхневими та підземними водними об'єктами "доброго екологічного та хімічного статусу".

Україна, підписавши Угоду про асоціацію з ЄС у 2014 році та отримавши статус кандидата на вступ у 2022 році, взяла на себе зобов'язання імплементувати європейські стандарти у сфері управління водними ресурсами. Цей процес включає транспозицію, впровадження та виконання актів ЄС. План імплементатії ВРД ЄС в Україні затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 року [27–29].

В Україні стан поверхневих вод визначають за екологічним та хімічним статусом, а підземних – за хімічним статусом та запасами. Екологічний статус

оцінюється за п'ятьма класами на основі біологічних елементів (риба, донні безхребетні тощо), а хімічний – за двома класами, враховуючи 45 пріоритетних речовин.

З 2019 року в Україні діє новий порядок моніторингу вод, що відповідає директивам ЄС. Він передбачає діагностичний, операційний та дослідницький види моніторингу, чіткий розподіл обов'язків між установами та збільшення кількості пунктів моніторингу.

Отже, порівняльний аналіз засвідчив, що нормативи ЄС та США часто жорсткіші за українські за багатьма показниками (ХСК, БСК, нітрати тощо). Проте, за показниками мінералізації, купруму та деяких інших елементів українські нормативи є суворішими. Імплементация регламентів ЄС враховуватиме національні можливості.

### **1.3. Проблема змін клімату у міжнародній інституційній базі та кліматичні чинники, які впливають на стан водних ресурсів.**

Після вивчення питань термінології щодо екологічної безпеки та небезпеки водних ресурсів, аналізу нормативів щодо якості водних екосистем, наступним кроком дослідження стало розгляд проблеми щодо зміни клімату, насамперед, вивчення трактування поняття «зміна клімату» у науковій літературі, а також у нормативно-директивних документах. Вивчення документів, які є підґрунтям до розробки і реалізації екологічної політики у сфері адаптації до змін клімату стало основою для виокремлення та обґрунтування кліматичних чинників, які можуть впливати на стан гідроекосистем.

Відчутні зміни клімату почали відбуватись з кінця XIX століття, а відповідні наслідки дедалі помітні по всій планеті. Підвищення температури по всьому світу є найбільш помітною, що, головним чином, пов'язано зі зміною складу атмосфери унаслідок антропогенної діяльності, що головним

чином пов'язано із використанням палива з викопних джерел і, відповідно, викидами парникових газів.

Відповідно звіту Всесвітньої метеорологічної організації, у 2023 році глобальна середня температура була більш ніж на  $1,2^{\circ}\text{C}$  вища, ніж у доіндустріального часу. Ця тенденція є сталою, і вона продовжує зростати, причому значення в Європі зростає швидше, ніж середнє світове значення. Так, у 2011–2020 роках глобальна температура поверхні нашої планети була вищою на  $1,09 [0,95\text{--}1,20]^{\circ}\text{C}$ , ніж у 1850–1900 роках. Цей показник був більшим над сушею ( $1,59 [1,34\text{--}1,83]^{\circ}\text{C}$ ), ніж над океаном ( $0,88 [0,68\text{ до }1,01]^{\circ}\text{C}$ )” [114–116].

2023, 2024, 2025 роки стали найтеплішими в історії. Температура зростає як на суходолі, так і в океані. Вперше зафіксовано перевищення  $+1,5^{\circ}\text{C}$  у межах одного року [38].

Прямим безпосереднім наслідком тривалого збільшення температури є зростання рівня моря унаслідок термостеричного розширення океану, а також інтенсивне танення льодовиків і крижаних покривів.

Зі змінами глобального клімату також пов'язані зміни кількості і інтенсивності опадів. Спостерігається стала тенденція до збільшення частоти екстремальних погодних та кліматичних явищ, такі як посухи, хвилі спеки, зливи, сильні вітри, шторми, лісові пожежі тощо. Такі погодні явища є причиною руйнування цілісності екосистем, зокрема гідроєкосистем.

Залежно від географічної території, а також кліматичних, географічних і соціально-економічних умов наслідки зміни клімату можуть бути різні. Так, на європейському континенті усі території підлягають впливу зміни клімату, причому басейн Середземного моря, гірські регіони, густонаселені заплави, прибережні зони та Арктика підлягають більшому ризику. До того, у звіті Всесвітньої метеорологічної організації підкреслюється, що більше третини населення Європи проживає в містах, які не мають необхідної здатності

адаптуватися до зміни клімату та піддаються серйозним впливам під час екстремальних погодних умов (хвилі спеки, посухи, зливи, паводки тощо).

Загально визнано, що Паризька угода є основним юридично обов'язковим міжнародним договором щодо зміну клімату. Угоду було прийнято 196 сторонами на Конференції ООН зі зміни клімату у Парижі 12 грудня 2015 року. Цей документ набув чинності 4 листопада 2016 року. Його основна мета полягає в тому, щоб утримати «підвищення глобальної середньої температури значно нижче 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем» і продовжувати зусилля «щоб обмежити підвищення температури до 1,5°C вище доіндустріального рівня» [108; 147; 148].

Отже, дії щодо адаптації до змін клімату є пріоритетом для міжнародної спільноти. Проте, незалежно від заходів зі скорочення викидів парникових газів та сценаріїв глобального потепління, найближчим часом вплив зміни клімату зростатиме. Причинами цього є відтермінування заходів щодо скорочення викидів, збройні конфлікти тощо. Однак, заходи з адаптації задля подолання неминучих наслідків зміни клімату та їх економічних, екологічних і соціальних втрат та збитків є надзвичайно важливими.

Заходи щодо адаптації до кліматичних змін мають включати зміни в бік зеленої економіки, яка передбачає низькі та/або нульові викиди карбону та впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. Розроблення такої моделі економічного розвитку ґрунтується на горизонтальному координуванні політик в сферах: науки і освіти, екології та збереження природних ресурсів, енергетики, економічного розвитку, аграрного виробництва тощо [54; 111; 146].

Відповідно звіту Всесвітнього економічного форуму за 2020 рік, існують такі серйозні глобальні ризики пов'язані зі зміною клімату, а саме: втрата середовища проживання; криза водних ресурсів; нездатність запобігати зміні клімату та адаптуватись до неї [155].

За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (ІРСС), зміна клімату – це зміна стану клімату, яку можна визначити (наприклад, за допомогою статистичних методів) за змінами середньої величини та/або мінливості характерних властивостей, які зберігаються упродовж тривалого періоду часу, зазвичай впродовж десятиліття або довше. Зміна клімату може бути викликана природними внутрішніми процесами або зовнішніми чинниками, такими як виверження вулканів і антропогенні зміни в складі атмосфери або землекористуванні [16; 110; 114].

Згідно з Рамковою конвенцією ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН), зміна клімату – це зміна, що спостерігається унаслідок прямої чи непрямой діяльності людини і призводить до зміни у глобальному складі атмосфери, також є доповненням до природної зміни клімату, що спостерігається упродовж порівнянного часу. Отже, за РКЗК ООН розрізняють зміну клімату через антропогенну діяльність, яка змінює склад атмосфери, та природну мінливість клімату [150; 151].

Відповідно до РКЗК ООН, адаптація до зміни клімату – це адаптація природних або людських систем у відповідь на фактичні чи очікувані кліматичні подразники чи їхні наслідки, яка знижує або запобігає шкоді або використовує вигідні можливості, пов'язані зі зміною клімату.

Відповідно Звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, розрізняють адаптацію в соціальних та природних системах.

Адаптація у соціоекосистемі – це процес пристосування до фактичного або очікуваного клімату та його наслідків, щоб пом'якшити шкоду або використати корисні можливості. У природних системах, – це процес пристосування до поточного клімату та його впливів; втручання людини може полегшити адаптацію до очікуваного клімату та його наслідків [115].

Відповідно того ж документу (Звіту Міжурядової групи експертів зі зміни клімату) виділяють інші види адаптації, а саме:

Поступова адаптація, що означає підтримку сутності і цілісності системи або процесу і є розширення дій і поведінки, які вже зменшують втрати або збільшують переваги від природних коливань екстремальних погодних/кліматичних подій. У деяких випадках поступова адаптація може призвести до трансформаційної адаптації;

Трансформаційна адаптація – це процес зміни фундаментальних атрибутів соціально-екологічної системи в очікуванні зміни клімату та наслідків;

Автономна (спонтанна) адаптація – це адаптація у відповідь на поточний стан клімату та його вплив без її безпосереднього планування, або свідомого зосередження на вирішенні проблеми зміни клімату;

Еволюційна адаптація – це процес, завдяки якому вид або популяція стають більш здатними жити в мінливому середовищі завдяки відбору спадкових ознак [114]. Біологи зазвичай відрізняють еволюційну адаптацію від акліматизації, оскільки остання відбувається упродовж життя окремого організму [156].

Екосистемна адаптація – це процес управління екосистемами для підвищення стійкості та зменшення вразливості людей і екосистем до зміни клімату. Адаптація на рівні громад впроваджується на локальному рівні і зосереджує увагу на розширенні можливостей та сприяттні адаптаційній спроможності громад. Це підхід, який враховує сильні сторони, контекст, культуру, знання, свободу волі та переваги локальних спільнот [114].

Адаптаційна спроможність – це здатність систем, установ, людей та інших організмів пристосовуватися до потенційної шкоди, використовувати можливості або реагувати на наслідки. Дефіцит адаптації – розрив між поточним станом системи та станом, в якому мінімізований негативний вплив існуючих кліматичних умов. Прогалина адаптації – різниця між фактично здійсненою адаптацією та тою, яку суспільство поставило за мету, що в основному визначається перевагами, пов'язаними з допустимим впливом

зміни клімату та відображає обмеження ресурсів і конкуруючі пріоритети. Межі адаптації – момент, коли цілі суб'єкта (або потреби системи) не можуть бути захищені від нестерпних ризиків за допомогою адаптивних дій. Жорсткі межі адаптації – жодні адаптаційні дії неможливі, щоб уникнути нестерпних ризиків. М'які межі адаптації – можуть існувати варіанти для уникнення нестерпних ризиків за допомогою адаптивних дій, але наразі вони недоступні. Варіанти адаптації – набір стратегій і заходів, доступних і відповідних для вирішення проблеми адаптації. Вони включають широкий спектр дій, які можна класифікувати як структурні, інституційні, екологічні або поведінкові [114]. Усі означені терміни визначено у Звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, вони надають глибше розуміння процесів зміни клімату, і під час дослідження впливу змін клімату на стан водних ресурсів [94; 95].

Міжнародна інституційна структура зі змін клімату охоплює низку міжнародних рамкових угод, які є підґрунтям для розробки і реалізації екологічної політики на державних рівнях. Узагальнюючи і систематизуючи міжнародний досвід, виділяємо такі основні міжнародні рамкові угоди, а саме:

1. Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН, 1992 рік)  
Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату було підписано 154 країнами та Європейським Союзом у 1992 році під час Саміту із захисту та розбудови довкілля. ЄС у своїй декларації, поданій одночасно з документом про ратифікацію Конвенції, визначив своєю загальною метою (для всіх держав-членів разом) стабілізацію викидів вуглекислого газу до 2000 року на рівні 1990 року [45];

2. Кіотський протокол. На основі процедур, передбачених Конвенцією, на Третій нараді Сторін (м. Кіото, грудень 1997 р.) було прийнято Протокол до Конвенції, відомий як Кіотський протокол. Кіотський протокол охоплює шість категорій викидів парникових газів (ПГ): вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), нітроген(I) оксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ), гідрогенфлуорокарбони (HFCs), перфлуорокарбон (PFCs) і сульфур гексафторид ( $\text{SF}_6$ ). Протокол має на меті

загальне скорочення викидів щонайменше на 5% впродовж п'ятирічного терміну 2008–2012 років порівняно з рівнем 1990 року. Протокол набув чинності в 2005 році. Усі країни-члени ЄС ратифікували Протокол у травні 2002 року [119];

3. Паризька угода. Паризька угода щодо зміни клімату – це міжнародна кліматична угода, основною метою якої є утримання підвищення середньої глобальної температури нижче 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем, а також продовження заходів щодо обмеження підвищення температури до 1,5°C відносно доіндустріального рівня, визнаючи, що у такий спосіб ризики та наслідки зміни клімату будуть значно зменшені. Угода офіційно набула чинності у 2016 році [148].

Рамкові угоди ЄС охоплюють низку документів, які належать до екологічних політик запобігання та адаптації до змін клімату. Визначено, що до основних документів в цьому плані належать:

1. Пакет ЄС щодо клімату та енергії до 2020 року (цілі 20–20–20) (Рішення 406/2009/ЕС). Європейська Рада прийняла інтегрований підхід до кліматичної та енергетичної політики, спрямований на адаптацію до змін клімату та підвищення енергетичної безпеки ЄС, зміцнюючи конкурентоспроможність і перетворюючи його на високоенергоефективну економіку з низьким рівнем викидів карбону. Вимоги, прийняті главами держав і урядів, стосувалися: зменшення викидів парникових газів щонайменше на 20% порівняно з рівнями 1990 року; 20% споживання енергії в ЄС має надходити з відновлюваних джерел; зниження споживання первинної енергії на 20% порівняно з прогнозованим рівнем завдяки підвищенню енергоефективності [109].

2. Пакет ЄС щодо клімату та енергії до 2030 року, який було прийнято Європейською Радою у 2014 році. Кліматична та енергетична рамкова програма до 2030 року має такі цілі: скорочення викидів парникових газів щонайменше на 40% до 2030 року порівняно з 1990 роком; рівні ЄС споживати

принаймні 27% енергії з відновлюваних джерел у 2030 році; загальноєвропейська орієнтовна ціль з підвищення енергоефективності принаймні на 27% до 2030 року. Підтримка завершення створення внутрішнього енергетичного ринку через досягнення поточної мети 10% об'єднаних об'єктів енергетичної інфраструктури в терміновому порядку і не пізніше 2020 року, зокрема в країнах Балтії та на Піренейському півострові, з метою досягти 15% до 2030 року.

Рамкова Угода до 2030 року, особливо її мета щодо скорочення викидів парникових газів у ЄС на 40%, є основою внеску ЄС до Паризької угоди щодо зміни клімату. Даний внесок, відомий як Очікувані національно визначені внески (ОНВВ), було офіційно затверджено на засіданні Ради ЄС із захисту довкілля 6 березня 2015 року [30].

3. Енергетична дорожня карта 2050 року, яка стосується переходу до конкурентоспроможної низьковуглецевої економіки до 2050 року з метою скорочення викидів парникових газів принаймні на 85–90% до 2050 року порівняно з 1990 роком [134].

Визначимо ключові політики адаптації. Серед основних документів – Зелена книга, яка видана Європейським Союзом у червні 2007 року. Цей документ є офіційним світовим обговоренням питань адаптації до зміни клімату. Зелена книга виникла, як необхідність вивчення незвичайних, екстремальних погодних явищ, які спостерігають упродовж останніх років на європейському континенті. Документ започаткував публічні консультації щодо політичних заходів, необхідних для зменшення наслідків і витрат, пов'язаних з глобальним потеплінням. У 2013 році було опубліковано Зелену книгу з Рамковою програмою кліматичної та енергетичної політики до 2030 року [113].

У 2009 році у Білій книзі ЄС задекларовано, що законодавство щодо зміни клімату передбачає конкретні заходи для виконання зобов'язань ЄС, а саме скорочення викидів до 20% нижче рівня 1990 року до 2020 року. На

перших етапах реалізації стратегії визначено чотири основні напрямки дій: 1) створення міцної бази знань про вплив та наслідки зміни клімату для ЄС; 2) інтеграція адаптації в ключову політику ЄС; 3) використання комбінації інструментів політики (ринкові інструменти, керівні принципи, державно-приватне партнерство) для забезпечення ефективного виконання адаптації; 4) активізація міжнародної співпраці з питань адаптації [153].

У квітні 2013 року схвалено Стратегію ЄС з адаптації до зміни клімату з такими основними цілями: заохочення держав-членів продовжити створення національних стратегій адаптації до зміни клімату; фінансування нарощування потенціалу та прискорення заходів щодо адаптації до зміни клімату через програму LIFE (2013–2020 роки); інтеграція адаптації в Угоду мерів (2013/2014 роки). Прийняття рішень на основі уточненої інформації: доповнення знань щодо адаптації до зміни клімату; розвиток онлайн-платформи Climate-ADAPT з метою формування центру інформації про адаптацію до зміни клімату. Дії щодо захисту ЄС від зміни клімату: інтеграція положень щодо адаптації до зміни клімату в ключових областях високої вразливості: захист Спільної сільськогосподарської політики; Політики згуртованості та Спільної рибної політики від змін клімату; захист інфраструктури від зміни клімату; просування програм страхування та інших фінансових продуктів для реалізації інвестиційних та бізнес-рішень стійких до зміни клімату [108; 120; 121; 147].

Наступним кроком у реалізації політ адаптації до змін клімату стала Угода мерів (2015 року). Підписанти Пакту зобов'язуються застосовувати комплексний підхід для запобігання зміні клімату та до адаптації до її наслідків. Упродовж перших двох років після приєднання, вони повинні розробити План заходів щодо сталої енергетики та клімату, спрямований на скорочення викидів CO<sub>2</sub> щонайменше на 40% до 2030 року та підвищення стійкості до зміни клімату [132].

У 2021 році Європейська Комісія ухвалила нову стратегію ЄС щодо

адаптації до зміни клімату. Нова стратегія визначає адаптацію Європейського Союзу до неминучих наслідків зміни клімату та набуття стійкості до зміни клімату до 2050 року. У Стратегії виокремлено основні цілі: зробити адаптацію продуманою, швидшею та систематичнішою, а також активізувати міжнародні заходи щодо адаптації до зміни клімату. Стратегію спрямовано на побудову суспільства, стійкого до впливу клімату через покращення знань про вплив клімату та адаптаційних рішень, активізації планування адаптації та оцінювання кліматичних ризиків, прискорення адаптаційних дій, сприяння зміцненню кліматичної стійкості у всьому світі [108]. Нова стратегія виявила неспроможність попереднього документу, тому у Новій Стратегії підкреслюється по більш продуману адаптацію («слід розширити знання про адаптацію до зміни клімату та отримати більше та кращі дані про клімат, зокрема про економічні втрати через його зміну»), про більш швидку та систематичну адаптацію (ЄС збільшив цільові витрати на заходи щодо запобігання змінам клімату до 30% у своєму довгостроковому бюджеті на 2021–2027 роки), а також про посилення міжнародних заходів.

У новій Стратегії підкреслюється теза про важливість впровадження комплексних підходів до управління ризиками через національну або субнаціональну політику адаптації та політики стійкості до кліматичних впливів у взаємодії з політиками управління ризиками виникнення стихійних лих та екологічною та соціальною політиками.

У контексті дослідження важливо відмітити, що підтримку ЄС буде зосереджено на розбудові адміністративної спроможності, а також на оцінюванні впливу та вразливості територій, покращенні збору та аналізу даних, розробленні планів адаптації відповідно до національних пріоритетів і вразливостей, а також сприянні стійким до зміни клімату структурним реформам і рішенням, на основні природних умов, з огляду на їхні додаткові переваги.

Стратегію скеровано на побудову суспільства, стійкого до впливу клімату через покращення знань про вплив клімату та адаптаційних рішень, активізацію планування адаптації та оцінювання кліматичних ризиків, прискорення адаптаційних дій, сприяння зміцненню кліматичної стійкості загалом. Отже, з Рамкової конвенції зі зміни клімату та Паризької угоди та зобов'язань перед ЄС розроблення стратегій адаптації до зміни клімату є національним і регіональним зобов'язанням.

Українська нормативна-законодавча база з питань змін клімату охоплює такі документи:

- Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2021 № 1363-р «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» [70].

- Указ Президента України від 30.09.2019 № 722 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» [84];

- Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 179 «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року» [61];

- Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 № 868 «Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди» [71];

- Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 № 1803 «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» [73];

- Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року» [72].

До базових законів, які створюють юридичну основу для розроблення стратегій щодо адаптації до змін клімату на регіональному рівні належать такі документи:

- Закон України «Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату», 29 жовтня 1996 року [27];
- Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони», 16 вересня 2014 року [29];
- Закон України «Про ратифікацію Паризької угоди», 14 липня 2016 року [28];
- Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», 28 лютого 2019 року [30];
- Закон України «Про енергетичну ефективність», 2022 року [31].
- Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики», 2024 року [32].

Узагальнюючи, вважаємо за необхідно зазначити, що зміст означених документів скеровано на розробку заходів з пом'якшення наслідків зміни клімату, адаптаційних заходів як основних цілей досягнення стійкого економічного зростання, покращення якості життя, поліпшення конкурентоспроможної економіки на основі інноваційного та високотехнологічного розвитку територій, розвитку відновлювальних джерел енергії, розробки регіональних планів управління відходами тощо. Отже, питання адаптації до змін клімату є одними з пріоритетних під час реалізації, як державної екологічної політики, так й європейських і світових зелених трансформацій.

Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики», ухвалений у жовтні 2024 року, встановлює правові основи для реалізації кліматичної політики в країні, зокрема в умовах зростаючого впливу змін клімату на довкілля, економіку та суспільство. Проаналізуємо його ключові положення та порівняємо з європейськими аналогами.

Основні положення Закону України «Про основні засади державної кліматичної політики» [32; 62]:

1. Цілі та завдання включають досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року; запроваджує заходи для зменшення викидів парникових газів, зокрема в енергетичному секторі, промисловості та транспорті; встановлює механізми адаптації до змін клімату, включаючи заходи з пом'якшення наслідків екстремальних кліматичних явищ (посухи, повені тощо).

2. Інтеграція кліматичної політики в державне управління через інтеграцію кліматичних аспектів у всі сфери державного управління, зокрема в енергетику, транспорт, сільське господарство та природоохоронну діяльність. Закон вимагає від місцевих і центральних органів влади враховувати кліматичні ризики під час планування територіального розвитку та розробки стратегій.

3. Кліматичне фінансування та ринкові механізми передбачають впровадження механізмів кліматичного фінансування, спрямованих на підтримку інвестицій у «зелені» технології та екологічно чисту енергетику; встановлює основи для функціонування ринку вуглецевих квот (система торгівлі викидами) відповідно до міжнародних кліматичних угод, таких як Паризька угода.

4. Моніторинг і звітність через обов'язковий моніторинг викидів парникових газів та регулярне звітування про досягнення цілей кліматичної політики; закон також встановлює вимоги до підприємств щодо звітності та зменшення викидів, що робить політику більш прозорою.

Порівняно з європейськими аналогами:

1. Європейський кліматичний закон (European Climate Law) передбачає кліматичну нейтральність як і в Законі України. Європейський кліматичний закон встановлює ціль досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Проміжні цілі передбачають зменшення викидів на 55% до 2030 року, що є обов'язковим. Український закон таких конкретних проміжних цілей на

середньострокову перспективу поки не містить. Ринки викидів у ЄС мають добре розвинену систему торгівлі викидами (EU ETS), яка функціонує вже тривалий час. Закон України передбачає лише впровадження таких механізмів, тому існує певний часовий розрив у розвитку цих інструментів.

2. Паризька угода (Paris Agreement). Обидва закони передбачають виконання положень Паризької угоди. Закон України адаптує глобальні кліматичні зобов'язання до національних реалій, проте в Європейському Союзі ці зобов'язання суворіше регламентовані та мають ширший спектр заходів для забезпечення їх виконання. Як в українському, так і в європейських законах акцент зроблено на розробці національних планів адаптації. Проте Європейський Союз має тривалішу історію у впровадженні адаптаційних заходів та фінансової підтримки для країн-членів.

3. Законодавство Німеччини (Klimaschutzgesetz) передбачає суворіший контроль. Так закон Німеччини має детально прописані механізми контролю за виконанням кліматичних цілей з чіткими квотами та відповідальністю за їх недотримання. В українському законі поки бракує таких жорстких механізмів контролю. Німеччина вже має напрацьовані схеми кліматичного фінансування, які охоплюють великі промислові підприємства, домогосподарства та транспортний сектор. В Україні механізми кліматичного фінансування лише починають впроваджуватися.

Отже, український закон «Про основні засади державної кліматичної політики» відповідає ключовим міжнародним та європейським кліматичним стандартам, зокрема положенням Паризької угоди та Європейського кліматичного закону. Проте для досягнення рівня кліматичних політик ЄС, Україні необхідно вдосконалити ринкові механізми, фінансування зелених ініціатив, а також інтегрувати проміжні цілі та посилити механізми контролю за виконанням кліматичних зобов'язань.

Для оцінювання впливу кліматичних чинників на поверхневі водні ресурси постало завдання відбору ключових параметрів клімату як багаторічного режиму погодних умов.

Так, під час дослідження було взято за основу таке визначення поняття «клімат», – це багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її трансформацією в активному шарі земної поверхні, і складається з двох частин: постійної (фізичні особливості Землі) і змінної (активність Сонця, океанів, вулканів, впливу людини). Зміна клімату – це довгострокова зміна клімату певної місцевості, регіону або планети. Зрушення вимірюється змінами в характеристиках, пов'язаних із погодними характеристиками, наприклад, температура, режим вітру, вологість, кількість опадів [147]. Отже, клімат – це статистичний опис погоди в певній області упродовж тривалого періоду часу, який може варіюватися від кількох років до десятиліть або навіть століть. Він охоплює середні значення температури, опадів, вологості повітря, вітру та інших метеорологічних параметрів для цієї області. Клімат є результатом взаємодії різних чинників, таких як сонячне випромінювання, географічні особливості, океанські течії, висота над рівнем моря та інші. Він визначає типові умови погоди, які можна очікувати в даному регіоні у певний період часу.

Зміна клімату – це довготривала зміна статистичних параметрів клімату на Землі через дію природних і антропогенних факторів. Ця зміна може включати зміни середньорічної температури повітря, зміни у режимі опадів, зміни в активності сонячної радіації. Існують два види чинників, які впливають на зміну клімату, а саме: природні (наприклад, вулканічна активність, зміни в сонячній активності та зміни орбітальних параметрів Землі) і антропогенні (наприклад, викиди парникових газів, зниження лісового покриву, скорочення біорізноманіття, збільшення озонових дір, забруднення атмосферного повітря аерозолями тощо). Нині, антропогенні чинники

вважаються основною причиною сучасної зміни клімату, яке відомо як глобальне потепління.

Температура атмосферного повітря, атмосферний тиск, вологість, рухи повітря, концентрація кисню, ступінь збудженості магнітного поля Землі, рівень забруднення атмосфери, усі ці чинники формують погодні умови і впливають не тільки на зміни клімату, але й на стан водних ресурсів. Серед останніх, для дослідження процесів впливу змін клімату на водні ресурси, виділяємо:

- температуру ( $^{\circ}\text{C}$ ), як один з основних термодинамічних параметрів атмосферного повітря;
- атмосферні опади (*мм*).

Температура атмосферного повітря – це один з основних параметрів, який характеризує стан атмосфери у певному місці та часі, вимірюється у градусах Цельсія або Фаренгейта. Температура атмосферного повітря – це інтегрований показник, оскільки його значення залежать від таких чинників: інтенсивності сонячної випромінювання; географічного положення; часу року, дня; висоти над рівнем моря; вологості; хмарності. До того, сонячна радіація є головним природним джерелом енергії для всіх процесів, що відбуваються на Землі. Показники сонячної радіації залежать від висоти Сонця над горизонтом, а це означає – від географічної широти місцевості, а також від сезонності, хмарності, кількості аерозолів в атмосферному повітрі.

Кількість атмосферних опадів (річне, середньомісячне, сезонне), їхній розподіл по земній поверхні, повторюваність та інтенсивність є також одними з ключових характеристик клімату. Кількість атмосферних опадів – це об'єм води, який випадає на певну площу упродовж певного часу унаслідок конденсації водяної пари в атмосфері. Цей показник вимірюється у міліметрах або сантиметрах водного стовпа за певний період часу, такий як день, місяць або рік. Кількість атмосферних опадів також можна віднести до інтегрованих показників, оскільки їх значення може значно варіюватися залежно від різних

чинників, а саме: географічне розташування; рельєф місцевості; напрям і сила вітру, активність сонячної радіації тощо. Рівень атмосферних опадів значно впливати на водні екосистеми.

Зміни в кількості атмосферних опадів також можуть бути пов'язані з кліматичними змінами, такими як глобальне потепління, яке може впливати на розподіл опадів у різних регіонах світу.

Одним з найпотужніших інструментів, який використано у дослідженні, є портал Служби моніторингу атмосферного повітря Copernicus [110]. Ця ініціатива Європейського Союзу, спрямована на надання відкритих, безкоштовних та надійних інформаційних послуг для моніторингу атмосферних умов та змін клімату; вона забезпечує доступ до великої кількості даних, отриманих з супутників, метеорологічних станцій, літаків тощо.

Так, на основі бази даних служби Copernicus отримано графічні залежності зміни середньої глобальної температури атмосферного повітря Землі упродовж 1960, 2022, 2023, 2024 років (рис. 1.1). Дані залежності підтверджують факт, що, починаючи з 1960-х років середня глобальна температура планети збільшилась на  $1,5^{\circ}\text{C}$  [142].

За останні 100 років підвищення середньої температури атмосферного повітря зросло зі швидкістю  $0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$  [41].

Проте, принципове питання: чи відбуваються зміни у рамках природних процесів або під впливом антропогенних дій залишається відкритим. Більшість учених дотримуються думки впливу саме людського чиннику на зміни клімату упродовж останніх десятиліть. Тому у нашому дослідженні буде вивчено комплексний вплив на стан водних ресурсів не тільки кліматичних чинників, але й суто антропогенного впливу, а саме зарегульованості річки.

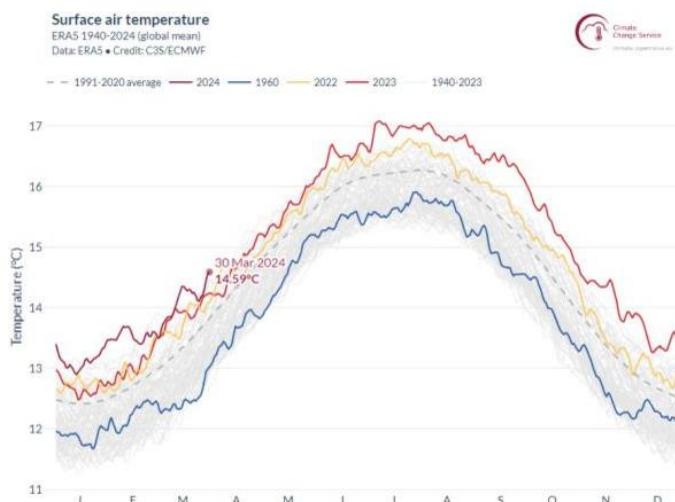


Рис. 1.1. Середня глобальна температура атмосферного повітря Землі упродовж 1960, 2022, 2023, 2024 років [143].

Продовжуючи аналіз змін середніх температур на регіональному рівні, зазначимо, що за даними [124], для Миколаївської області приріст середньої температури становить  $1\text{--}1,5^\circ\text{C}$ , якщо порівнювати періоди 1961–1990 роки і 1991–2000 роки (рис. 1.2).

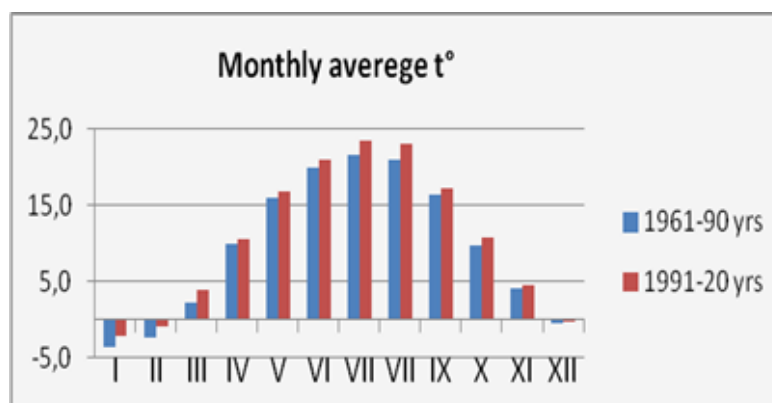


Рис. 1.2. Зміни середньої температури по Миколаївській області (за Мурмило Р.) [124].

Відомості рис. 1.2, за дослідженням Мурмило Р. [124], чітко доводять тенденцію підвищення температури атмосферного повітря. У більшості місяців середні температури періоду 1991–2020 років (червоні стовпчики)

вищі, ніж у період 1961–1990 років (сині стовпчики). Найбільш помітне зростання спостерігається в літні місяці.

Отже, проблема зміни клімату, що є одним з пріоритетів міжнародної та української екологічної політики, проявляється у сталому та прискореному зростанні глобальної температури. За даними Всесвітньої метеорологічної організації, у 2023 році глобальна середня температура була більш ніж на  $1,2^{\circ}\text{C}$  вищою, ніж у доіндустріальний час. Ця тенденція є сталою, і значення в Європі зростає швидше, ніж середнє світове значення. Зокрема, у 2011–2020 роках глобальна температура поверхні нашої планети була вищою на  $1,09^{\circ}\text{C}$ , ніж у 1850–1900 роках, причому над сушею цей показник був більшим ( $1,59^{\circ}\text{C}$ ), ніж над океаном ( $0,88^{\circ}\text{C}$ ). 2023 та 2024 роки стали найтеплішими в історії, вперше зафіксовано перевищення  $+1,5^{\circ}\text{C}$  у межах одного року.

Для дослідження впливу змін клімату на водні ресурси виділяємо два основних чинника, а саме: температура атмосферного повітря та атмосферні опади, оскільки вони є ключовими інтегрованими показниками, що безпосередньо впливають на гідроекосистеми. Зміна температури повітря прямо впливає на випаровування з поверхні води, танення снігу, що живлять водний об'єкт, а також на температурний режим самої водойми, що є критичним для водних організмів. Кількість та інтенсивність атмосферних опадів визначають об'єм надходження води до гідроекосистеми, а їхні зміни (наприклад, посухи або зливи) безпосередньо впливають на водний баланс та цілісність останньої. Отже, ці два параметри є основними рушіями гідрологічних процесів і дозволяють комплексно оцінити ймовірність впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів. Вони дозволяють оцінити масштабність впливу змін клімату на гідроекосистеми, ризики повеней та посух, вплив на аграрне виробництво, а також на біорізноманіття водних екосистем. Без врахування цих параметрів неможливо розробити математичні моделі впливу змін клімату, а також ефективні стратегії адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату для водних ресурсів.

### Висновки до першого розділу

У контексті дослідження впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів особливої актуальності набуває чітке розмежування понять «екологічна безпека» та «екологічна небезпека» водного середовища. Визначено, що екологічна безпека розглядається як стабільний стан водних екосистем, що дозволяє забезпечити якість і доступність води для різних сфер використання, зберігаючи екологічну рівновагу. Натомість екологічна небезпека означає наявність або загрозу порушень гідрологічного режиму, забруднення, зниження водності та втрати біорізноманіття, що загострюється під впливом змін клімату.

Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та на міжнародному рівні засвідчив суттєві розбіжності. Визначено, що нормативи якості поверхневих вод для господарсько-побутових потреб ЄС та США є суворішими за українські за багатьма показниками, такими як ХСК, БСК, хлориди, сульфати, фосфати, нітрати, нітрити, амоній, хром, меркурій, нафтопродукти. Проте, за мінералізацією та купрумом українські нормативи є жорсткішими. За такими інтегрованими показниками, як рН та жорсткість, вимоги майже однакові..

Глобальне потепління є очевидною реальністю, про що свідчить зростання середньої температури Землі на 1,5°C з 1960-х років. У 2023 році температура перевищила доіндустріальний рівень на 1,2°C, а 2023–2025 роки стали найтеплішими в історії. Ця тенденція призводить до збільшення екстремальних погодних явищ, таких як посухи та зливи, які прямо впливають на гідроекосистеми. В Україні, зокрема на Миколаївщині, середня температура зросла на 1–1,5°C між періодами 1961–1990 та 1991–2000 років, що посилює вплив на водні ресурси.

Для дослідження впливу кліматичних змін на стан гідроекосистем визначено та обґрунтовано такі інтегровані параметри, як: температура атмосферного повітря та атмосферні опади.

## РОЗДІЛ 2

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ІНДИКАТОРІВ ЗМІН КЛІМАТУ, ЯКІ ВЛИВАЮТЬ НА ВОДНУ ЕКОСИСТЕМУ

#### 2.1. Основні матеріали дослідження.

З метою оцінювання параметрів навколишнього середовища та водної екосистеми Миколаївської області в межах міста Миколаєва було використано бази даних стратегічних та програмних документів, а саме:

- Екологічні паспорти Миколаївської області упродовж 2005–2025 років; [ 26];

- Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища Миколаївської області упродовж 2005–2023 років [67];

- План управління річковим басейном Південного Бугу 2025–2030 [56];

- Схема планування території Миколаївської області;

Було використано матеріали установ:

- Миколаївська обласна військова адміністрація [48];

- Департамент екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації [20];

- Миколаївська обласна рада [49];

- Державна служба статистики України [21];

- Головне управління статистики у Миколаївській області [16];

- Державне агентство водних ресурсів України [22];

- Регіональний офіс водних ресурсів Миколаївської області тощо [9; 68].

До того, для дослідження кліматичних чинників, таких як опади, температура атмосферного повітря тощо використовувались дані таких платформ, як Google Earth Engine (GEE) [112]. GEE – це потужний інструмент для аналізу та візуалізації геопросторових даних. Ця платформа дозволяє працювати з великими обсягами супутникових знімків і кліматичних даних,

що робить його особливо корисним для дисертаційного дослідження з екологічного моніторингу та вивчення впливу кліматичних змін на водні ресурси. До того, було використано дані Інтернет-ресурсу Ventusky, як інструменту, де подано точні метеорологічні показники та зміни погоди в часі усієї планети та у кожній конкретній точці земної кулі [152].

## **2.2. Температурний режим Миколаєва і Миколаївської області.**

У першому розділі було обґрунтовано вихідну позицію, щодо обрання інтегрованих індикаторів погодних умов, які визначають кліматичні умови територій, а саме: температура атмосферного повітря та кількість опадів. Температурний режим регіону залежить від географічної широти, яка, у власну чергу, визначає значення сонячної радіації, особливості підстильної поверхні, а також специфіка атмосферної циркуляції, на що значною мірою впливає близька відстань від Чорного моря. Температурний режим атмосферного повітря також залежить від змін клімату, тобто довготривалих тенденцій у зміні температури, що викликані природними та антропогенними чинниками, а також від впливу людської діяльності, а саме: урбанізація, промислових викидів, змін в землекористуванні.

Упродовж ХХ століття, а також у першій чверті ХХІ століття мають місце суттєві зміни температурного режиму. За даними Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату [100], спостерігаються аномально високі температури у багатьох регіонах планети. Визначено, що перші два десятиліття ХХІ століття на  $0,99^{\circ}\text{C}$  є теплішими за середню температуру доіндустріального періоду (1850–1900 роки), а упродовж 2011–2025 років – на  $1,09^{\circ}$ . Виявлено аномалію середніх значень глобальної температури упродовж 2013–2024 років, а саме –  $1,14$  [ $1,02$  до  $1,27$ ] $^{\circ}\text{C}$ , що свідчить про продовження періоду потепління [154]. Такі аномальні високі температури на планеті спостерігались 125000 років тому, коли глобальна температура була на  $0,5$ – $1,5^{\circ}\text{C}$  вищою за температуру, порівняно з доіндустріальним періодом. Цей

час відомий як Еемський міжльодовиковий період, коли зміни у кліматі призвели до підвищення рівня моря та більш теплих умов на значній частині Землі. Сучасні зміни клімату, викликані антропогенними чинниками, демонструють схожі тенденції підвищення температури. Починаючи з 1970 року, глобальна температура була найвищою за останні 2000 років, а останнє десятиріччя є найтеплішим за 6500 років. До того, останнє десятиліття дійсно було найтеплішим за останні 6500 років. Це підкреслює серйозність сучасних змін клімату та необхідність вжиття заходів для зменшення викидів парникових газів і уповільнення глобального потепління [115; 116].

Зміна температури повітря свідчить про суттєву зміну температурного режиму всієї кліматичної системи планети. На думку учених, наслідки кліматичних змін мають переважно негативний характер і, за прогнозами, будуть посилюватись у майбутньому.

В Україні метеорологічні спостереження проводяться з 1881 року. Упродовж останніх десятиліть в Україні також визначено суттєві зміни кліматичної системи, індикатором яких є температурний режим атмосферного повітря [37; 93].

У дослідженні [83] подано аналіз змін річної температури в Україні, починаючи з 1901 року. Обґрунтовано тезу, що стійкість сучасної маловодної фази річки Південний Буг викликана стійким підвищенням річної температури в Україні, яке спостерігається з 2000 р. по теперішній час.

Вважаємо за необхідне акцентувати увагу на той факт, що упродовж 1991–2025 років спостерігались найвищі темпи зміни середньої за рік температури атмосферного повітря, порівняно з 1961 роком. Вони майже втричі перевищували темпи зміни середньої за рік глобальної температури ( $0,21^{\circ}\text{C}/10$  років) у цей період. Як наслідок, за оцінкою NOAA, Україна потрапила до регіонів нашої планети, за винятком полярних широт, де зростання температури відбувалось найвищими темпами.

За даними аналізу Copernicus Climate Change Service, глобальна середня температура повітря на поверхні квітня 2024 року була вищою, ніж у будь-якому попередньому квітні в наборі даних повторного аналізу, починаючи з 1940 року (рис. 2.1) [101; 102].

Показано, що, за останні 30 років середня температура в нашій країні зросла на  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Швидкість зростання температури повітря в окремих регіонах України сягає  $0,82^{\circ}\text{C}$  за останні 10 років, тоді як у сусідніх країнах –  $0,47$ - $0,59^{\circ}\text{C}/10$  р., а в північній півкулі та Європі –  $0,34$  і  $0,47^{\circ}\text{C}/10$  р. відповідно. Ці дані свідчать про те, що швидкість підвищення температури повітря в Україні є значно вищою за глобальні та європейські темпи [142].

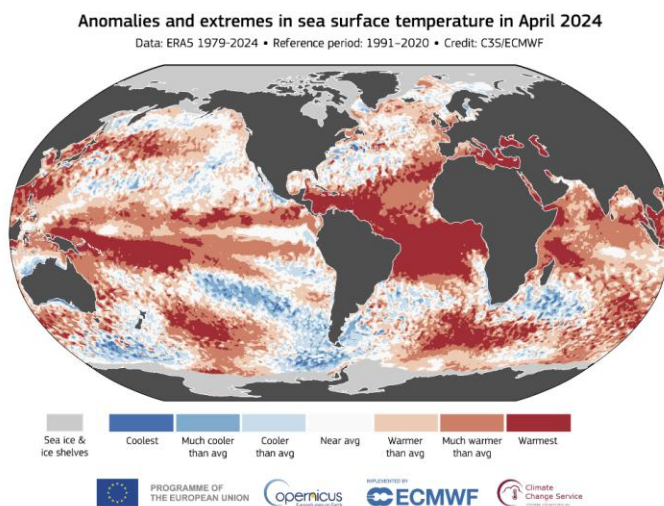


Рис. 2.1. Аномальні температури морської води в квітні 2024 року за даними Copernicus Climate Change Service [96].

Квітень 2024 року є одинадцятим місяцем поспіль, який є найтеплішим за відповідний місяць року (рис. 2.1). Визначено, що квітень і липень 2024 року був на  $1,58^{\circ}\text{C}$  теплішим, ніж середнє значення для доіндустріального базового періоду (1850–1900). Так, наприклад, глобальна приземна температура повітря в квітні 2024 року становила  $15,03^{\circ}\text{C}$ , що на  $0,67^{\circ}\text{C}$  вище середнього значення для квітня 1991–2023 рр. і на  $0,14^{\circ}\text{C}$  вище попереднього максимуму, встановленого в квітні 2016 року. Цей місяць, у якому встановлюються

температурні рекорди для відповідного періоду. Загалом, у всьому світі упродовж 12 місяців (з травня 2023 року по квітень 2024 року) були теплішими, ніж будь-який попередній 12-місячний період, на  $0,73^{\circ}\text{C}$  вище середнього за 1991–2023 рр. і на  $1,61^{\circ}\text{C}$  вище середнього доіндустріального періоду [96].

Отже, відкриті данні моніторингових спостережень Copernicus Climate Change Service показують, що рекорди глобальних температур спостерігаються упродовж останніх місяців 2023 і 2024 років в різних регіонах Світового океану. 21 липня 2024 року є найжаркішим днем за історію спостережень. Середня температура на планеті в цей день склала  $17,09^{\circ}\text{C}$ . Це найвища температура, яку було зафіксовано з 1940 року. Попередній рекорд було встановлено у 2023 році, і він складав  $17,08^{\circ}\text{C}$  [101; 102].

Основними характеристиками температури атмосферного повітря є середньомісячні, середньосезонні показники, що відбивають розподіл температури упродовж року. Середньомісячна температура - показник середньої температури за певний місяць, що дозволяє зрозуміти температурні тенденції впродовж кожного місяця року. Середньосезонна температура - показник середньої температури за певний сезон (зима, весна, літо, осінь), що відображає більш тривалі тенденції температурних змін протягом року. Ці показники є важливими для аналізу кліматичних змін, прогнозування погоди, сільського господарства та багатьох інших галузей. Вони допомагають зрозуміти розподіл температури упродовж року і виявити довгострокові тенденції кліматичних змін.

Для помірного клімату характерні такі особливості:

Чітко виражена сезонність через виділення чотирьох пор року – зима, весна, літо та осінь, кожна з яких має свої характерні температурні та погодні умови.

Помірні температури, які не досягають екстремальних значень. Зими можуть бути холодними, але не надто суворими, а літа – теплими, але не надто спекотними.

Різноманітність опадів може бути різною залежно від географічного розташування, але загалом помірний клімат характеризується достатньою кількістю опадів, які розподіляються протягом року. Оподи можуть бути у вигляді дощу, снігу, туману тощо.

М'які перехідні сезони через те, що весна і осінь у помірному кліматі зазвичай характеризуються помірними температурами і поступовим переходом від холодної зими до теплого літа і навпаки.

Зміни у тривалості дня спостерігаються значні зміни у тривалості дня упродовж року. Літом дні довгі, а ночі короткі, тоді як взимку – навпаки.

Різноманіття ландшафтів може включати різні ландшафти, такі як ліси, степи, гори та узбережжя, що створює різноманітні екосистеми.

Головною ж особливістю помірного клімату є наявність чотирьох сезонів: двох основних, зима та літо, і двох проміжних – весна та осінь. Така особливість клімату характерна також для Миколаєва (табл. 2.1; Додаток А).

Спостереження за погодою та кліматом у місті проводить метеорологічна станція, розташована у Миколаєві. Миколаїв знаходиться у степовій агрокліматичній зоні України, у басейні нижніх течій річок Південний Буг і Інгул. Так, за багаторічними даними метеорологічних спостережень, визначено, що упродовж 1991–2024 рр. клімат міста належав до помірного континентального, посушливого. Так, у Миколаєві фіксується біля 60–67 днів із від'ємною середньою за добу температурою повітря, яка є характерною ознакою зимового періоду, близько 32 дні з від'ємною максимальною за добу температурою повітря. Тривалість періоду з від'ємною мінімальною температурою повітря може бути втричі більшою – у середньому 93 дні за рік: 64 зимою, 16 весною і 14 восени.

Таблиця 2.1

Значення температурних характеристик за рік та сезон у Миколаєві і  
Миколаївській області упродовж 1991–2024 років

Показник	Сезон, рік	Миколаїв	Миколаївська область
Середня температура, °С	Зима	-0,9	-1,1
	Весна	10,4	10,3
	Літо	22,7	22,3
	Осінь	10,9	10,6
	Рік	10,1	10,5
Максимальна середня температура, °С	Зима	2,2	2,0
	Весна	15,7	15,9
	Літо	29,0	28,6
	Осінь	15,0	15,5
	Рік	15,7	15,4
Мінімальна середня температура, °С	Зима	-3,7	-3,9
	Весна	5,6	5,3
	Літо	16,9	16,3
	Осінь	6,8	6,4
	Рік	6,4	6,0

Для оцінки відчутної температури («реальної» температури) використовується Індекс вітрового охолодження Сайпла та Пассела (Siple-Passel Wind Chill Index) [137], який враховує комбінований ефект температури повітря та швидкості вітру. Індекс вітрового охолодження у ккал/м<sup>2</sup>/год використовується для оцінки рівня тепловтрат тіла за умов холодної погоди. Чим вищий індекс, тим швидше людина втрачає тепло і тим холодніше відчувається температура і визначається за формулою 2.1:

$$WCI=(10V-V+10.5)\times(33-T_a) \quad (2.1)$$

де WCI – індекс вітрового охолодження в ккал/м<sup>2</sup>/год,

$T_a$  – температура повітря в градусах Цельсія,

$v$  – швидкість вітру в метрах за секунду.

Цей індекс є важливим інструментом для розуміння, як холод і вітер впливають на відчуття температури і тепловтрати, забезпечуючи необхідну інформацію для запобігання небезпечним для здоров'я ситуаціям. Визначено значення індексу вітрового охолодження Сайпла та Пассела, які доводять, що за таких умов, величина втрат тепла людським організмом на території Миколаївської області коливається в межах 850–900 ккал/м<sup>2</sup> год і загалом збігається із дослідженнями [2; 3; 42], і відповідає категорії «холодно» і належить до помірної ризику щодо обмороження.

Температурний режим з лютого починає змінюватись для досліджуваної території. Так, спостерігається збільшення притоку сонячної радіації, що призводить до інтенсивного зростання температура повітря, тому березень тепліший за лютий практично на 5,1°C, а квітень за березень – на 7,0°C.

Теплий період у Миколаївській області триває близько 300 днів. У травні переважають літні температури, а середня місячна температура становить близько 17,01°C, а середня максимальна – 23,6°C.

Отже, у Миколаївській області весна досить тепла, про що свідчить середня за сезон температура повітря 10,3°C (табл. 2.1), що, загалом, вище за температуру вегетаційного періоду. Так, весною 2024 року цвітіння багатьох рослин по Миколаївській області почалось за три тижні раніше середнього терміну. Тоді, як вважається, що середньою датою початку активної вегетації у Миколаївській області середина квітня, а закінчення вегетаційного періоду – 15 жовтня. Період активної вегетації триває близько 187 днів.

Середня літня температура – +22,3°C (табл. 2.1). Вересень у Миколаївській області охоплює в середньому 20 днів.

Найвища температура спостерігається переважно (58%) у серпні, середня температура якого становить +24,3°C, середня максимальна – +29,6°C, а середня мінімальна – +17,2°C. Значно рідше (43%) найвища температура буває у липні.

За кількістю опадів та температурними умовами північна частина області належить до зони недостатнього зволоження, центральна і південна – до посушливої. Середня за рік температура повітря в області становить  $+10,5^{\circ}\text{C}$ , а річна амплітуда температури (різниця між середньою температурою найтеплішого і найхолоднішого місяця) –  $+25,4^{\circ}\text{C}$ . За рік випадає у середньому 470 мм опадів. Їхня річна кількість змінюється від 407 мм на півдні (Очаків) до 553 мм на півночі (Первомайськ).

Аналіз зимових температур засвідчив, що середня температура зими становить близько  $-1,01^{\circ}\text{C}$ , і має діапазон коливань від  $-0,27^{\circ}\text{C}$  до  $-1,71^{\circ}\text{C}$ . Визначено, що на півдні Миколаївської області середня температура нижче  $0^{\circ}\text{C}$  спостерігається лише у січні і лютому. Найхолодніший місяць Миколаївської області – січень. Середній температурний режим січня  $-2,02^{\circ}\text{C}$ , проте середня мінімальна –  $-4,75^{\circ}\text{C}$ , а середня максимальна –  $+0,91^{\circ}\text{C}$ .

На значній території Миколаївській області осінь у тепліша за весну, про що свідчать данні табл. 2.1. Так, середня за сезон температура повітря становить  $10,6^{\circ}\text{C}$ , середня максимальна –  $15,4^{\circ}\text{C}$ , а середня мінімальна –  $6,4^{\circ}\text{C}$ . У Північному Причорномор'ї, як максимальна, так і мінімальна температури восени вищі, ніж весною.

Проаналізуємо динаміку змін середніх річних температур у м. Миколаїв у період з 1980 по 2024 роки за даними спостережень авіаметеорологічної станції міста. Так, графік на рис. 2.2 свідчить про наявність стійкого лінійного тренду у напрямку поступового збільшення середніх річних температур. Найтепліші роки за даний період спостережень є 2023 і 2024, найхолодніші – 1985 і 1987 роки. Важливо відмітити, що швидкість зростання середньої температури становить  $0,61^{\circ}\text{C}$  за кожні десять років. Окремо аналізуючи тенденції щодо змін максимальних річних температур, що подано на рис. 2.3, можна відмітити також поступову стійку залежність до збільшення максимальних річних температур. Лінія тренду щодо мінімальних температур засвічує сталість. Визначивши коефіцієнт кореляції, який дорівнює  $0,7$  і є

позитивним, що вказує на те, що коли одна змінна зростає, інша також має тенденцію зростати. Коефіцієнт кореляції 0,7 свідчить про сильний зв'язок між змінними, але не абсолютний. Це означає, що змінні мають тенденцію змінюватися разом, але з деяким розкидом. Мова йде про кореляцію між роком та середньою температурою.

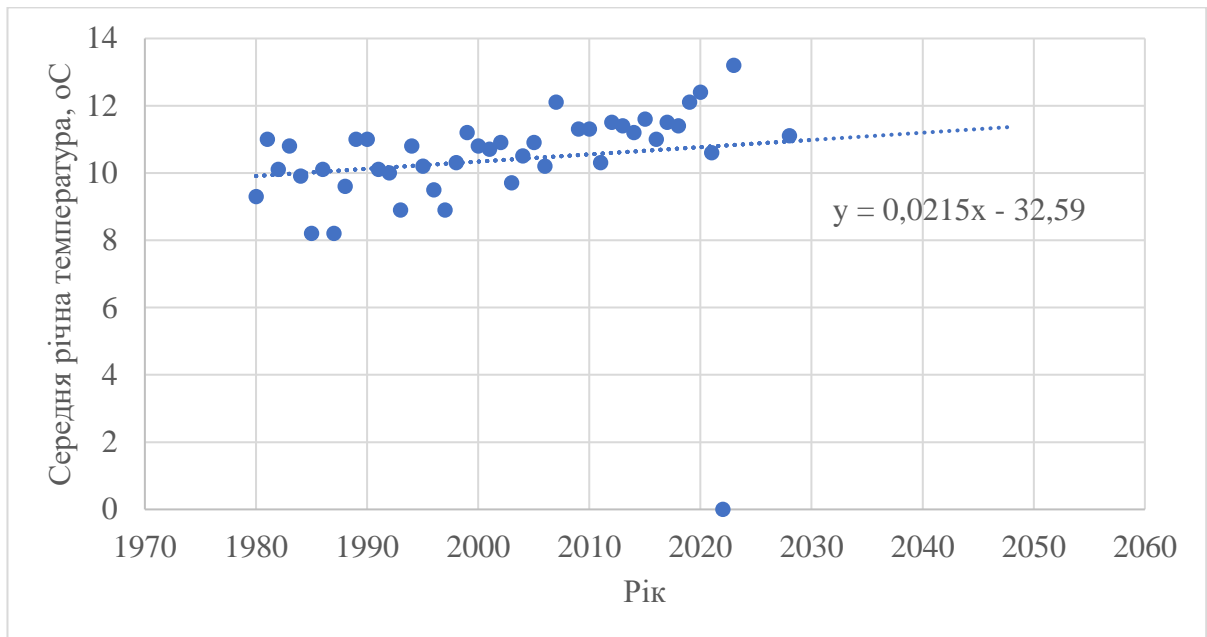


Рис. 2.2. Динаміка зміни середньої річної температури з 1980 по 2024 роки.

Проте, визначена кореляція не означає причинно-наслідковий зв'язок, тобто кореляція 0,7 вказує на лінійний зв'язок, але не враховує нелінійних зв'язків.

Температурний максимум на території міста упродовж 1980 – 2024 років зафіксовано у 1998 році (+40,1°C); температурний мінімум – у 2006 році (–25,9°C).

Рівняння тренду  $y=0,0215x-32,59$  означає, що щороку середня річна температура збільшується приблизно на 0,021 °C. Константа (–32.59) має значення у контексті конкретного діапазону років. З рис. 2.1. видно, що є певні коливання температури навколо лінії тренду, що є звичайним для кліматичних даних. Якщо продовжити цей тренд, можна передбачити, що середня річна

температура продовжить зростати і в майбутньому. На основі лінії тренду, у 2050 році середня річна температура може становити приблизно:  $0,0215 \times 2050 - 32,59 = 11,4^\circ\text{C}$ .

Отже, графік рис. 2.2 демонструє довгострокове зростання середньої річної температури, що може бути ознакою глобального потепління або інших кліматичних змін. Це важливий показник для екологічних досліджень та планування заходів з адаптації до зміни клімату.

Разом з тим, визначено, що по області упродовж періоду з 1991 по 2025 роки лютий у 37,0% років був холоднішим за січень. Упродовж зимового періоду в Миколаївській області спостерігається до 10 днів з мінімальною температурою повітря нижче  $-10,0^\circ\text{C}$ , з них, до 3-х днів із сильними морозами, коли температура повітря спостерігалась нижче  $-20,0^\circ\text{C}$ . Динаміку зміни максимальної і мінімальної річних температур з 1980 по 2024 роки подано на рис. 2.3. Зеленими точками відмічені максимальні температури, а синіми – мінімальні. Трендові лінії показують тенденції змін для обох температурних рядів. Згідно з трендовими лініями, максимальні температури зростають зі швидкістю  $0,0884^\circ\text{C}$  на рік; мінімальні температури зменшуються зі швидкістю  $0,0136^\circ\text{C}$  на рік. Обидва тренди вказують на зміну температурних екстремумів з часом, що може бути пов'язано з глобальними кліматичними змінами. Також, визначено, що у Миколаївській області упродовж 1991–2024 років не зафіксовано жодного випадку, коли б відмічалась найвища температура у червні.

Зростання максимальних температур може свідчити про загальне потепління клімату. Зменшення мінімальних температур вказує на можливі більш холодні зими або ночі. Збільшення максимальних температур може призвести до підвищення частоти теплових хвиль, що може вплинути на здоров'я людей, сільське господарство та енергетичні потреби.

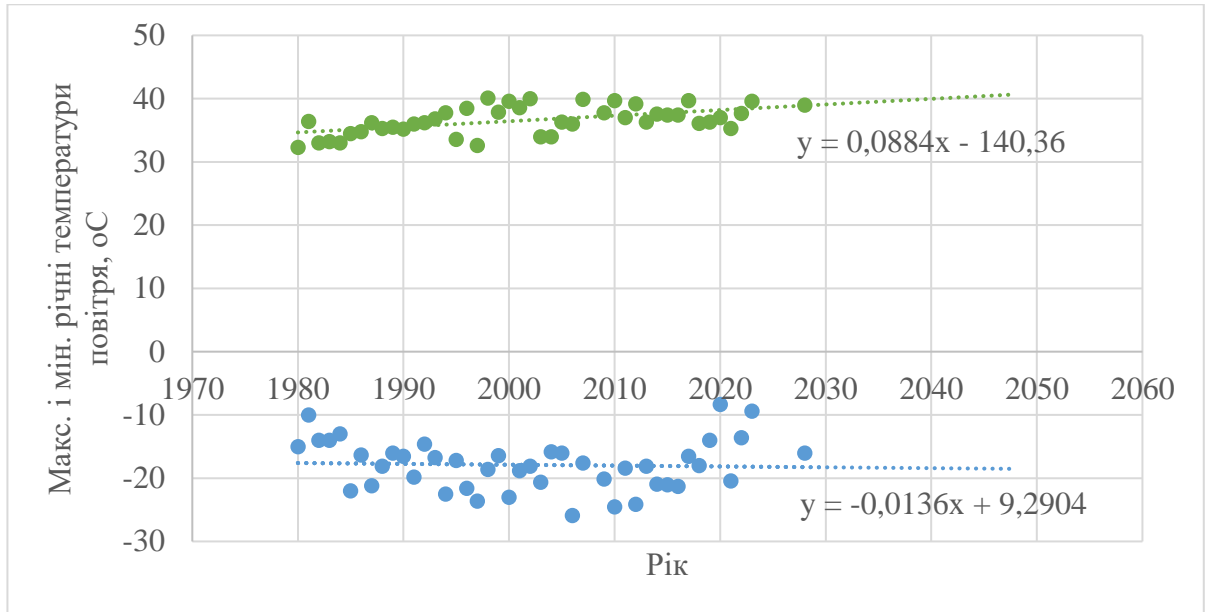


Рис. 2.3. Динаміка зміни максимальної і мінімальної річних температур з 1980 по 2024 роки.

Використовуючи отримані рівняння трендових ліній, можна зробити прогноз щодо майбутніх максимальних та мінімальних температур.

Наприклад, для 2030 року:

Максимальна температура:

$$y = 0,0884 \times 2030 - 140,36 = +39,09.$$

Мінімальна температура:

$$y = -0,0136 \times 2030 + 9,2904 = -18,32.$$

Упродовж досліджуваного періоду в області спостерігалось близько 98 днів із спекотною погодою, коли максимальна температура повітря перевищує  $25,0^{\circ}\text{C}$ . Температурні умови, за яких мінімальна температура повітря перевищує  $20,0^{\circ}\text{C}$  характерні для тропічних широт («тропічні ночі»), що є характерним для Миколаївської області. У середньому за рік спостерігається близько 20 тропічних ночей. Такі екстремальні температурні умови найбільшу повторюваність спостерігаються упродовж липня – серпня, що викликає тепловий стрес та теплове навантаження на живі організми. До того,

збільшенню цього навантаження сприяє зростання відносної вологості, зменшення швидкості вітру, а також збільшення притоку сонячної радіації.

Відомо, що за однакових температур, вологості повітря та швидкості вітру теплове навантаження на організм людини буде більшим при безхмарній погоді, порівняно з такими ж метеорологічними умовами за похмурої погоди. Найбільша кількість днів, що супроводжується тепловим стресом (до 90%) спостерігається у липні – серпні.

Вважаємо зазначити, що важливою характеристикою температурного режиму є відхилення щоденних значень мінімальної та максимальної температури від їхніх середніх багаторічних значень. Такі стрибки температурного режиму обумовлюють інтенсивність та тривалість періодів потеплінь і похолодань, що створюють певні екологічні ризики для водних ресурсів.

Значення 5 перцентилі мінімальної температури повітря характеризують дуже сильні похолодання. Влітку при дуже сильному похолоданні у Миколаївській області можуть спостерігатись такі ж температури повітря, як і взимку, при дуже сильному потеплінні. Визначено, що за сезон триматиметься до 5 днів з такими екстремальними температурами.

Екстремальними є потепління, за яких максимальна за добу температура повітря більше 95 перцентиль її середніх багаторічних значень за цей день та похолодання, при яких мінімальна за добу температура повітря нижче 5 перцентилі для цього дня. Такі хвилі тепла спостерігаються у літній період, становлять у середньому за сезон  $35,6^{\circ}\text{C}$  і характеризують дуже сильну спеку в регіоні.

Разом з тим, упродовж зимового періоду мають місце від 3-х днів з дуже високою температурою повітря, коли її максимальні значення перевищують величину 95%, а середнє максимальне перевищення становить  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Сильне потепління весною спостерігається частіше, ніж восени (4,08 та 3,06 відповідно). У середньому, у Миколаївській області спостерігається близько

15 днів з дуже високою для даного сезону максимальною температурою повітря. Динаміку зміни кількості спекотних днів ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) з 1981 по 2024 роки подано на рис. 2.4 (Додаток А), з якого простежується стійке поступове зростання кількості спекотних днів щороку. Коефіцієнт нахилу 1,9353 показує, що в середньому кількість спекотних днів збільшується на 1,9353 дні щороку. Перехоплення 226,18 вказує на початкове значення кількості спекотних днів у році, коли  $x=0$ . Найвища кількість спекотних днів спостерігається ближче до 2024 року, що підтверджує тренд до підвищення температур.

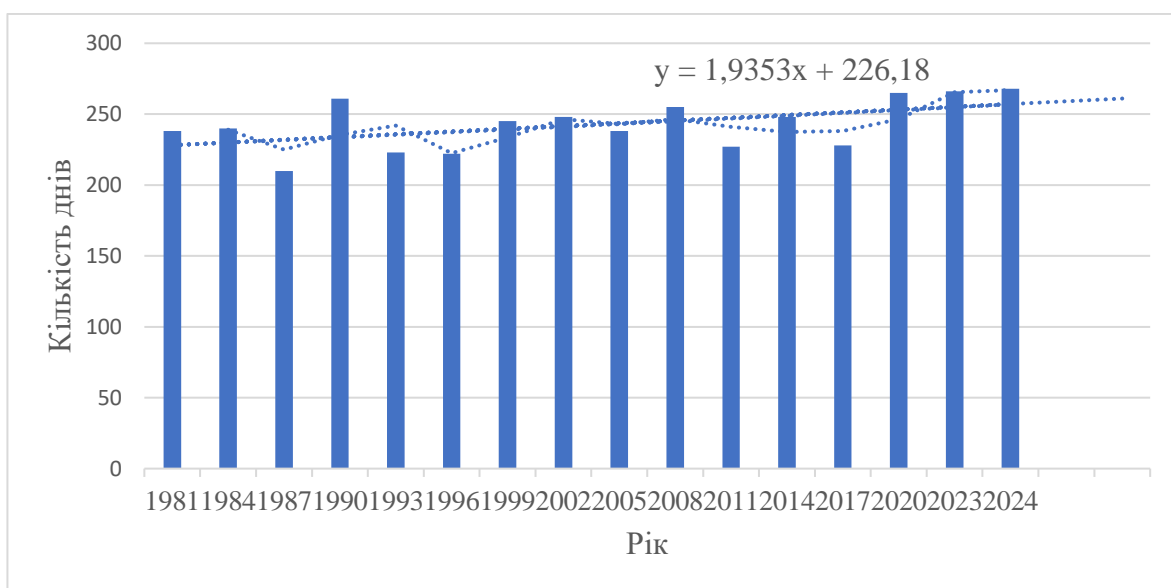


Рис. 2.4. Динаміка зміни кількості спекотних днів ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) з 1981 по 2024 роки.

Отже, дані свідчать про стабільне збільшення кількості днів з температурою вище  $25^{\circ}\text{C}$  упродовж аналізованого періоду. Це може бути результатом глобального потепління та змін клімату. Проте, в окремі роки кількість спекотних днів може бути нижчою або вищою за трендові значення, що свідчить про природні коливання та можливий вплив інших кліматичних чинників. Загалом, графік демонструє явну тенденцію до збільшення кількості спекотних днів, що є важливим показником змін клімату в регіоні.

### **2.3. Режим кількості опадів Миколаєва і Миколаївської області.**

Наступним параметром, який визначає кліматичні умови регіону і є одним з лімітуючих чинників є атмосферна волога. Цей чинник відіграє провідну роль у формуванні погоди і клімату. Атмосферна волога та її колообіг значною мірою впливає на всі аспекти кліматичної системи, формує специфічні характеристики клімату території [2; 3; 97].

Атмосферна волога та її колообіг (гідрологічний цикл) – це процес постійного руху води між океанами, атмосферою та сушею. Цей цикл охоплює такі основні етапи:

Випаровування через перехід води з рідкого стану в газоподібний під дією сонячного тепла. Вода випаровується з поверхні океанів, річок, озер, ґрунту та рослин (транспірація).

Конденсація через процес перетворення водяної пари в рідину, коли вона піднімається в атмосферу і охолоджується, утворюючи хмари і туман.

Опади, коли краплі води або кристали льоду в хмарах стають достатньо важкими, вони падають на землю у вигляді дощу, снігу, граду або мокрого снігу.

Стік через те, що частина води, що випала у вигляді опадів, стікає по поверхні землі в річки, озера та океани. Частина цієї води просочується в ґрунт і поповнює підземні водоносні шари.

Повернення в океан через те, що річки і підземні води повертають воду в океан, де цикл починається знову [44].

Отже, атмосферна волога є інтегрованим показником і відіграє важливу роль у підтриманні клімату та погодних умов на Землі. Вона впливає на температуру, утворення хмар, опади та навіть на життя рослин і тварин. Окреслимо деякі ключові моменти про атмосферну вологу:

Вологість, як кількість водяної пари в повітрі. Вологість впливає на комфорт людини та стан здоров'я, а також на технологічні процеси.

Рослинність, як чинник впливу вологості на ріст рослин, які використовують воду для фотосинтезу та транспірації.

Кліматичні зміни через те, що вологість і опади можуть змінюватися через глобальні кліматичні зміни, що впливає на доступність водних ресурсів.

Отже, знання про атмосферну вологу та її колообіг допомагає в управлінні водними ресурсами, прогнозуванні погоди та розумінні глобальних кліматичних змін.

Для подальшого дослідження було обрано таку основну характеристику атмосферної вологи, за допомогою якої можна описати режим зволоження регіону, як кількість опадів. За одиницю вимірів прийнято середню багаторічну кількість опадів за рік або сезон.

Сезонна і річна кількість опадів складають суму добової кількості опадів за відповідний період. Аномалії опадів – відносні величини зміни їхньої кількості за рік, сезон у сучасний кліматичний період відносно базового кліматичного періоду.

Для Миколаївської області характерний континентальний тип випадіння опадів. Головні характеристики континентального типу випадіння опадів є: сезонність опадів, коли літні місяці характеризуються більшою кількістю опадів, оскільки теплі температури сприяють підвищеному випаровуванню та конвекційним процесам, що призводять до дощів. На деяких територіях можуть виникати грози. Зимові місяці, навпаки, характеризуються меншими опадами, часто у вигляді снігу. Через низькі температури випаровування зменшується, а вологість повітря знижується [97]. Добові зміни через значні коливання температур упродовж доби, що також впливає на режим опадів.

Кількість у континентальних районах зазвичай менша, ніж у прибережних. Це пов'язано з віддаленістю від великих водних масивів, які є основними джерелами вологи. Розподіл опадів може бути нерівномірним, з різкими періодами дощів і сухих періодів. Улітку можуть бути короткочасні, але інтенсивні дощі.

Для області спостерігається максимум опадів 148 мм (31,9%) у літній період і мінімум на початку весни – у березні (29,1 мм) та квітні (28,9 мм), про що свідчать дані рис. 2.5–2.6, а також табл. 2.2. Цікавою особливістю є той факт, що взимку та у весняний період спостерігається майже однакова кількість опадів, близько 104 мм (22%). В осінній період спостерігається дещо більша кількість опадів – 114 мм (32%).

Збільшення опадів восени відбувається за рахунок зростання їхньої кількості у вересні, про що свідчить діаграма рис. 2.5 і відомості табл. 2.2 [131].

Загалом, у Миколаївській області в середньому за рік визначено близько 120 днів з опадами, іншими словами кожний третій день року характеризується опадами.

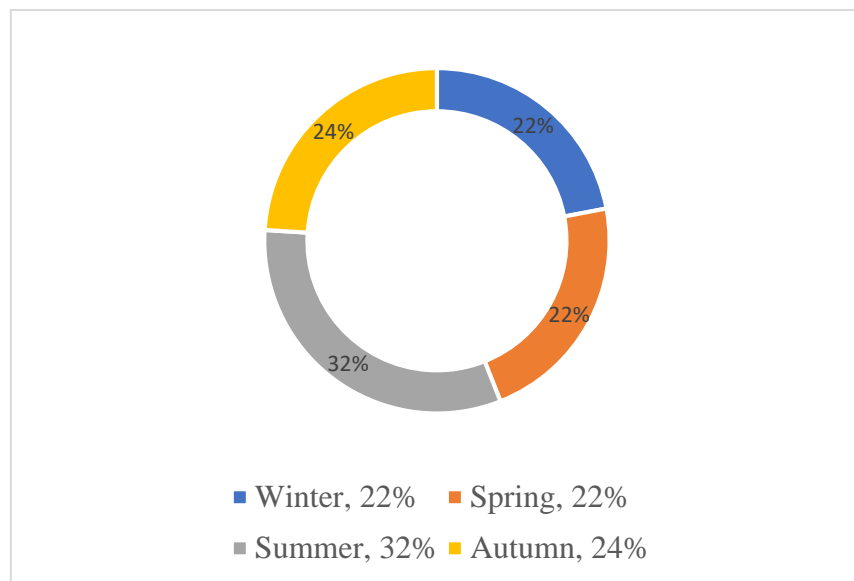


Рис. 2.5. Кількість опадів по порам року (%) у Миколаївській області упродовж 1981–2024 роки [97].

За даними багаторічних спостережень, максимальна тривалість безперервного дощового періоду може досягати тижня. Кількість добових опадів більше 5 мм є ефективними для аграрного виробництва та водних екосистем за високої температури повітря влітку. У середньому такі опади спостерігаються близько 36 днів за рік, що складає 10% днів року і обумовлює критичні умови для землеробства. Разом з тим, до трьох днів щорічно

спостерігається випадіння опадів понад 30 мм за добу; один раз на рік бувають опади понад 50 мм за добу.

Для характеристики вологозабезпеченості території використовуємо гідротермічний коефіцієнт зволоження Селянінова (*ГТК*) (формула 2.2), як відношення суми опадів упродовж періоду, коли середньодобова температура повітря вище +10°C до суми активних температур за той же період, зменшена в 10 разів.

$$ГТК=0,1\Sigma T/\Sigma P \quad (2..2)$$

де:

$\Sigma P$  - сума опадів за певний період (звичайно, за місяць) в міліметрах;

$\Sigma T$  – сума середньодобових температур повітря за той же період у градусах Цельсія.

Відповідно до значень гідротермічного коефіцієнту зволоження Селянінова (*ГТК*) виділяють п'ять типів клімату:

- дуже сухий (0,4–0,7);
- помірно-сухий (0,7–1);
- помірно-вологий (1–1,2);
- вологий (1,2–1,5);
- надмірно вологий (більше 1,5) [2; 3].

Графік рис. 2.6. показує середню місячну кількість опадів (мм) у Миколаївській області за період з 1981 по 2024 рік. Найбільша кількість опадів спостерігається у червні, приблизно 60 мм. Відзначимо сезонні тенденції. Для весни помітне збільшення опадів, з піком у травні. Для літа – знову висока кількість опадів з піком у червні. Для осені спостерігається поступове зменшення опадів після вересня. Для зими характерна відносно низька кількість опадів, близько 30 мм у грудні, менше у січні та лютому. Найменше опадів у березні та лютому, що становить приблизно 20 мм. Решта місяців мають опади в діапазоні від 30 до 35 мм, що є середнім показником для регіону.

Отже, літні місяці мають найвищий рівень опадів, що є типовим для більшості регіонів України, де літні грози можуть приносити значні кількості дощу. Зимові місяці мають найменше опадів, що теж очікувано через низькі температури та менше вологи в атмосфері.

Загалом, Миколаївська область має виражений континентальний клімат з більш вологими літніми місяцями та сухими зимами.

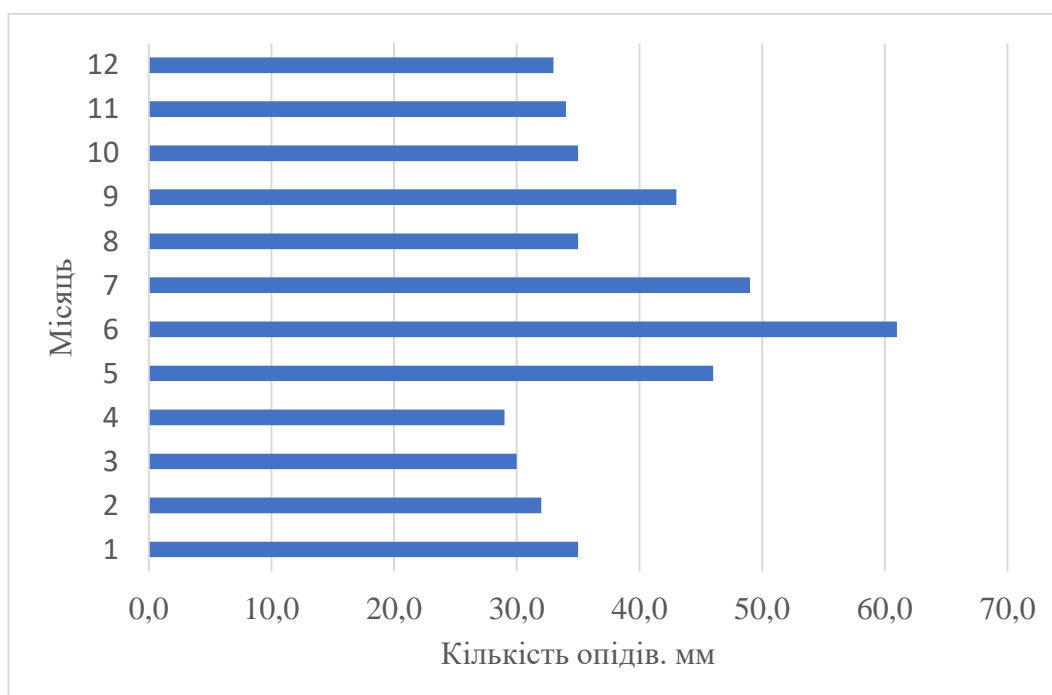


Рис. 2.6. Середня місячна кількість опадів (мм) у Миколаївській області упродовж 1981–2024 рр.

Дані табл. 2.2 свідчать, що за коефіцієнтом зволоження Селянінова Миколаївська область належить до регіонів майже сухим кліматом. Загалом, такі умови спостерігаються для більшої території області. Коефіцієнт зволоження Селянінова (*ГТК*) зі значенням 0,71 свідчить про недостатнє зволоження. Це означає, що кількість опадів є недостатньою для нормального розвитку рослин, і вони можуть страждати від нестачі вологи. Наслідками такого недостатнього зволоження є: погіршення умов для росту та розвитку сільськогосподарських культур; зниження врожайності через брак вологи; потреба в додатковому зрошенні для підтримки нормального розвитку рослин.

Для природних екосистем – це є: стрес, що може призвести до зниження біорізноманіття; вплив на лісові масиви та природні луки; зниження рівня ґрунтових вод; зменшення стоку річок і заповнення водойм.

Таблиця 2.2

Значення кількості опадів та ГТК Селянінова упродовж  
1981–2024 років.

Показник	Сезон	Миколаївська область	Миколаїв
Кількість опадів, мм	Зима	90	104
	Весна	100	105
	Літо	125	150
	Осінь	97	114
	Рік	409	469
Коефіцієнт зволоження Селянінова (ГТК)	Тепла пора року	0,71	0,83

Проте, вважаємо зазначити, що для південних районів (наприклад, Очаківський район) ГТК=0,66 (дуже сухий), а для північних (наприклад, Первомайський район) ГТК=1,02 (вологий). Отже, кліматичні умови для різних районів області кардинально відрізняються, що обумовлює відповідний стан водних екосистем, зокрема річки Південний Буг, частина якої є об'єктом нашого дослідження.

Загалом, для Миколаївської області характерні висока температура атмосферного повітря, дефіцит опадів, підвищена швидкість вітру. Дефіцит вологи може починатись у квітні і закінчуватись у жовтні. Упродовж цього періоду, як правило, спостерігаються близько 170 діб з високими температурами, що впливатиме на стан водних екосистем, спричинюючи явища евтрофікації.

В області і місті опади випадають, як правило, у вигляді дощів та злив, які мають місце упродовж усього року (табл. 2.3). Визначено, що найбільшу повторюваність мають зливові дощі. Відзначено, що у середньому за рік

відмічається близько 80 днів зі зливами, понад 70% яких спостерігається весною та літом. Травень і червень – це найбагатші місяці для злив (понад 30%, 13 днів). Проте, опадів у вигляді дощу щорічно відмічається близько 20 днів (кожний 18 день, що є досить малою величиною). Така інтенсивність дощів впливає на стан водних ресурсів, а також визначає умови значних ризиків для агарного сектору економіки.

Таблиця 2.3

Кількість днів за місяць, сезон та рік з дощем та снігом  
у Миколаївській області упродовж 1991–2024 років

Період року	Сніг	Сильний сніг	Сильний мокрий сніг	Дощ	Зливний дощ
Січень	6,9	3,6	0,6	4,8	2,3
Лютий	5,1	3,1	0,7	4,0	2,4
Березень	2,6	2,2	1,0	4,9	5,8
Квітень	0	0,2	0,2	3,1	9,2
Травень	0	0	0	1,1	<b>12,3</b>
Червень	0	0	0	0,6	<b>12,3</b>
Липень	0	0	0	<b>0,2</b>	7,6
Серпень	0	0	0	<b>0,5</b>	7,6
Вересень	0	0	0	1,1	6,4
Жовтень	0	0,1	0,1	2,9	4,5
Листопад	1,4	1,3	0,6	5,4	2,8
Грудень	4,3	3,2	0,6	5,6	7,4
Зима	16,3	9,7	1,9	14,4	12,1
Весна	2,6	2,4	1,2	9,1	27,3
Літо	0	0	0	1,3	27,5
Осінь	1,4	1,4	0,8	9,4	13,7
Разом за рік	20,3	13,5	3,9	19,8	80,6

Зливний дощ – це дощ, під час якого за півдоби випадає понад 50 мм [2].  
За результатами спостережень, у Миколаївській області під час зливи випадає

понад 60 опадів. Такої інтенсивності опадів в області спостерігається не менше одного випадку. Найбільша кількість опадів, що випали за півдобу була зафіксована 9.05.1968 у Вознесенську і становить 151 мм. Стихійним явищем є також сильні зливи під час яких за 1 год і менше випадає 30 мм і більше опадів. Під час дуже сильних злив, які бувають один раз на чотири роки, випадає у середньому 46 мм. Найінтенсивніша злива спостерігалась 09.05.1968 у Вознесенську Миколаївської області. Тоді випало 122 мм опадів менше, ніж за годину. Стихійні опади починаються переважно у другій половині дня; початок більшості злив катастрофічного характеру припадає на момент максимального розвитку конвекції з 12 до 18 год [2].

Визначено, що упродовж першої половини теплого періоду з квітня по червень у північному Причорномор'ї спостерігається 25–35% загальної кількості випадків стихійних опадів, з відділлю на 100 км від берега кількість таких випадків зростає майже на 50%. Снігопади в області можуть утворюватися із жовтня по квітень. Особливості снігопадів у цей період: з жовтня по листопад можуть бути нестійкими і швидко танути, є ймовірність заморозків; з грудня по лютий найбільш інтенсивні та стабільні снігопади, які утворюють стійкий сніговий покрив; з березня та квітень призводять до затяжної зими, сніг, що тоне, може призводити до повеней і підвищення рівня води у річках та озерах. Тривалий період снігопадів має низку позитивних аспектів впливу на водні ресурси через забезпечення накопичення води у вигляді снігового покриву, який поступово тоне і поповнює водні ресурси навесні.

Загалом, взимку в області спостерігається 20,3 днів зі снігом, 13,5 з сильним снігом. 80% днів зі снігом і 72% з сильним снігом спостерігаються зимою. Найбільша повторюваність снігових опадів відмічається у січні (дані табл. 2.3).

Вважається, що снігопад, при якому випадає понад 20 мм за 12 годин є стихійним метеорологічним явищем. Явище такої інтенсивності

спостерігається один раз на чотири роки. Максимальна кількість опадів (29 мм) під час сильного снігопаду випала у Первомайську 08.01.2003.

Опади у вигляді снігу переважають у січні. Опади у вигляді мокрого снігу за рік у Миколаївській області відмічаються близько 4 днів.

Разом з тим, у Миколаївській області упродовж останніх десятиріч відмічається зміна режиму зволоження. Спостерігається стала тенденція зменшення кількості опадів за рік упродовж 1961–2024 років. Графік рис. 2.7 демонструє, що кількість опадів за 10 років у середньому зменшується на 1,7%.

Графік рис. 2.7. вказує на коефіцієнт детермінації  $R^2=0.83$ , що означає 83% варіацій у значеннях даних можуть бути пояснені лінією лінійного тренду та стійку тенденцію до зменшення. Іншими словами, лінійна модель пояснює 83% дисперсії залежної змінної (значень) на основі незалежної змінної (років). Це досить високе значення, яке свідчить про те, що лінія тренду добре підходить до даних, хоча не ідеально. Залишаються ще 17% варіацій, які не пояснюються цією моделлю. Це можуть бути випадкові варіації або ж вплив інших чинників, які не були враховані в моделі. Лінійна модель дозволяє зробити прогноз на майбутнє, якщо припустити, що тенденція збережеться. Проте, реальні дані можуть відрізнятись через різні чинники.

Вважаємо за необхідне також відзначити, цікаву закономірність, що середня щорічна норма кількості опадів упродовж 1991–2024 років не зазнала суттєвих змін порівняно з 1961–1990 роками (рис. 2.8). Загалом, форми обох кривих схожі, що вказує на схожість сезонного розподілу опадів у обох періодах. Основні піки і спади в опадах залишаються на тих самих місяцях, з деякими варіаціями в абсолютних значеннях. Проте, слід зазначити, що прослідковується перерозподіл кількості опадів між сезонами року. Так, найбільші зміни відбуваються для осіннього періоду.

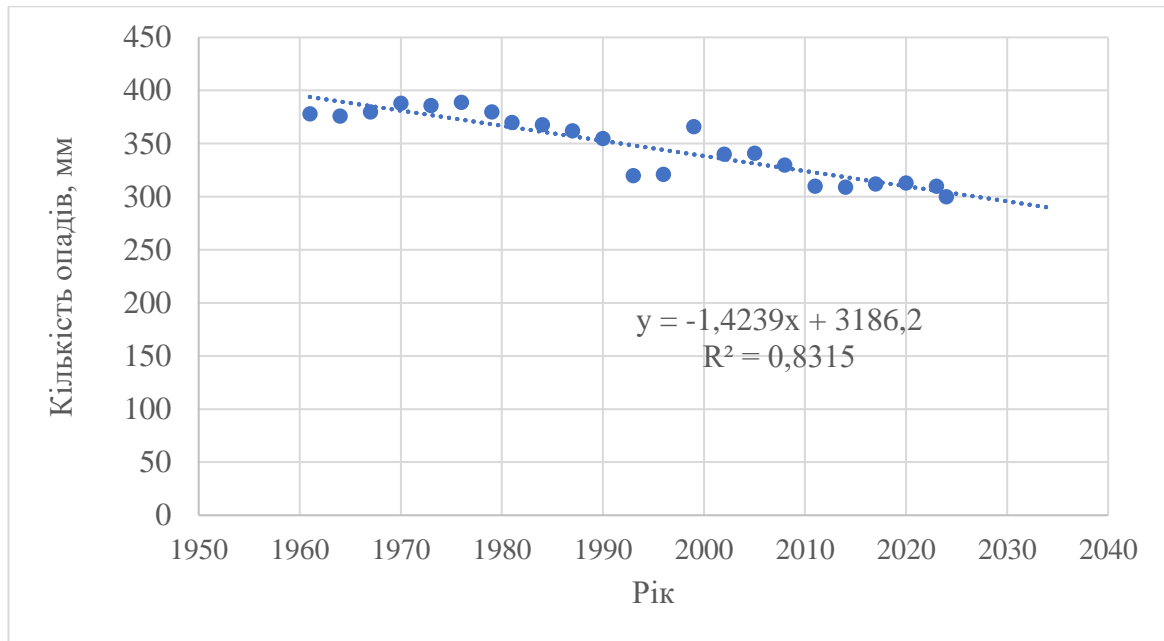


Рис. 2.7. Річна зміна кількості опадів упродовж 1961–2024 років по Миколаївській області.

У межах області кількість опадів зростає близько на 16% за рахунок жовтня (47%) і вересня (18%). Проте, у листопаді кількість опадів незначно зменшилась на 6%. Разом з тим, спостерігається незначне збільшення кількості опадів весною за рахунок травня на 7% і влітку за рахунок червня на 6%, що не є суттєвим для кардинальної зміни кліматичних умов. Для інших місяців року спостерігається суттєве зменшення кількості опадів за рахунок квітня на 17%, липня на 18% і серпня 20%. Таке значне зменшення опадів упродовж майже 60 днів року призводить до суттєвого зростання максимальної температури атмосферного повітря, зростання посушливості (рис. 2.8). Дані свідчать про певні кліматичні зміни у регіоні, зокрема, про перерозподіл кількості опадів упродовж року.

Результатом таких змін є аридизація територій південних і центральних районів Миколаївської області та, по-суті, перетворення деяких південних районів на напівпустелю. Подальші дослідження та моніторинг необхідні для більш глибокого розуміння причин цих змін та їхнього впливу на екосистему та економіку регіону.

Екологічними наслідками аридизації можуть бути втрата біорізноманіття, зменшення площ лісів та деградація ґрунтів, що спричинить зниження сільськогосподарської продуктивності, підвищення витрат на іригацію та боротьбу з ерозією, міграцію населення, зростання бідності та конфлікти за ресурси.

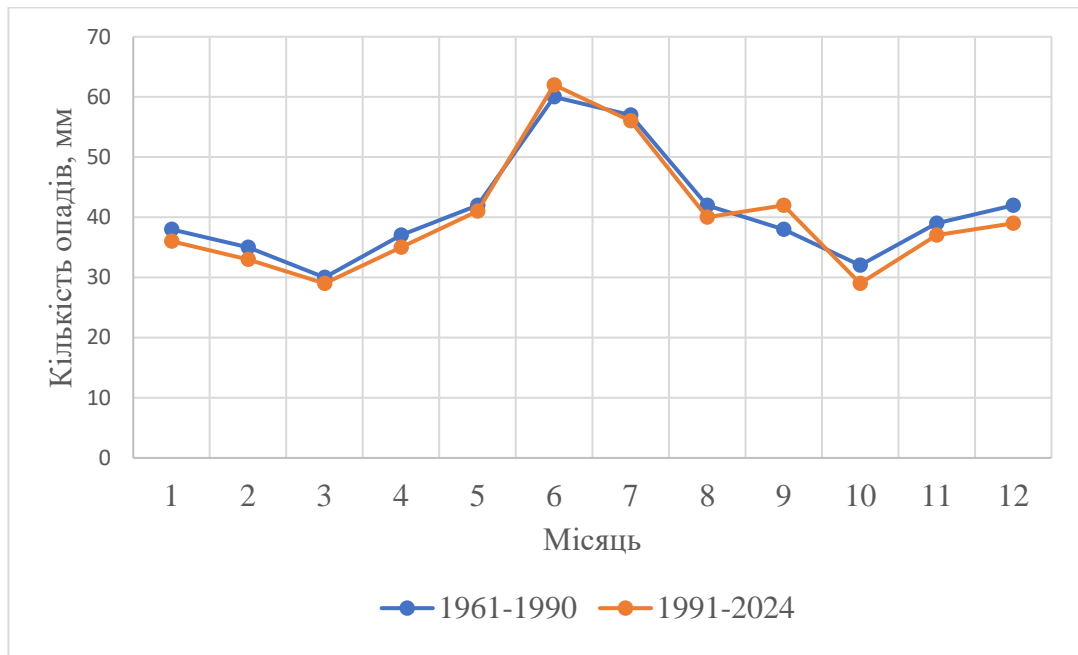


Рис. 2.8. Динаміка місячної норми опадів по області упродовж 1991–2024 років порівняно з періодом 1961–1990 років.

Слід зазначити таку визначену закономірність, що на тлі зменшення загальної кількості днів з опадами, проте число зливних дощів та снігу зросло (рис. 2.9).

Так, підвищення температури атмосферного повітря у зимовий період спричинило збільшення кількості днів із мокрим та зливовим мокрим снігом. Разом з тим, вважаємо за необхідне підкреслити, що збільшення кількості опадів у вигляді зливових мокрих снігу та дощу, а також підвищення максимальної температури атмосферного повітря не забезпечують достатнє накопичення вологи у ґрунтовому покриві та живлення водних екосистем.

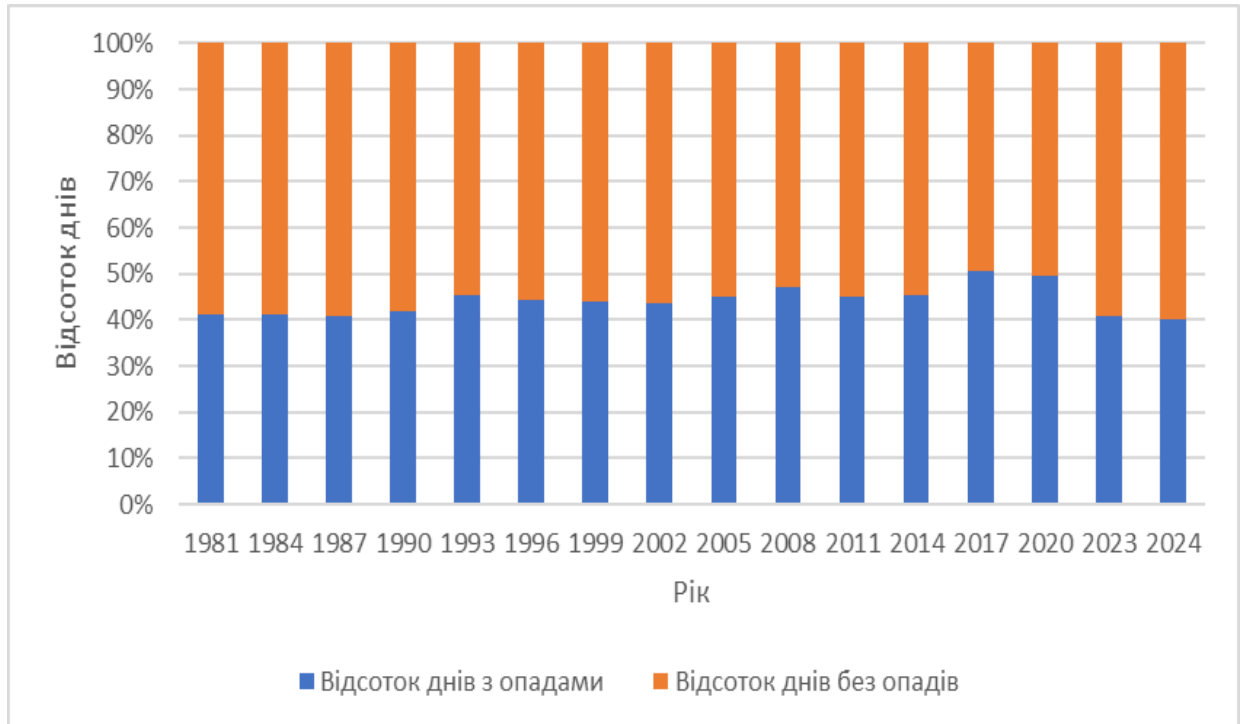


Рис. 2.9. Динаміка зміни річної кількості днів з опадами і без опадів.

Щорічно в області відзначається до 7 днів, які характеризуються атмосферною посухою, екологічними наслідками якої є: деградація земель через опустелювання та втрату родючості ґрунтів; виснаження водойм (рівень води в річках, озерах та підземних водоносних шарах може значно знижуватися); забруднення водних екосистем (зменшення води в водоймах може підвищити концентрацію забруднювачів); втрата середовищ існування (рослини і тварини можуть втрачати свої середовища існування через висихання водних джерел і деградацію земель); скорочення популяцій (деякі види можуть зменшуватися в чисельності або навіть зникати).

Оскільки Миколаївська область має значний діапазон змін у погодних умовах, зокрема, кількості опадів, вважаємо за доцільне проаналізувати динаміку зміни опадів по місту Миколаєву. У подальшому в дослідженні буде акцентовано увагу на стані водних ресурсів саме у межах міста. Так, за даними авіаметеорологічної станції Миколаїв, упродовж 1980–2024 років

спостерігається стійка тенденція до зменшення кількості атмосферної вологи (рис. 2.10).

Найпосушливими рокам за даний період спостережень були 1992, 1994, 2017 роки (менше 300 мм); найвологішими – 1997, 2010, 2021 (більше 600 мм).

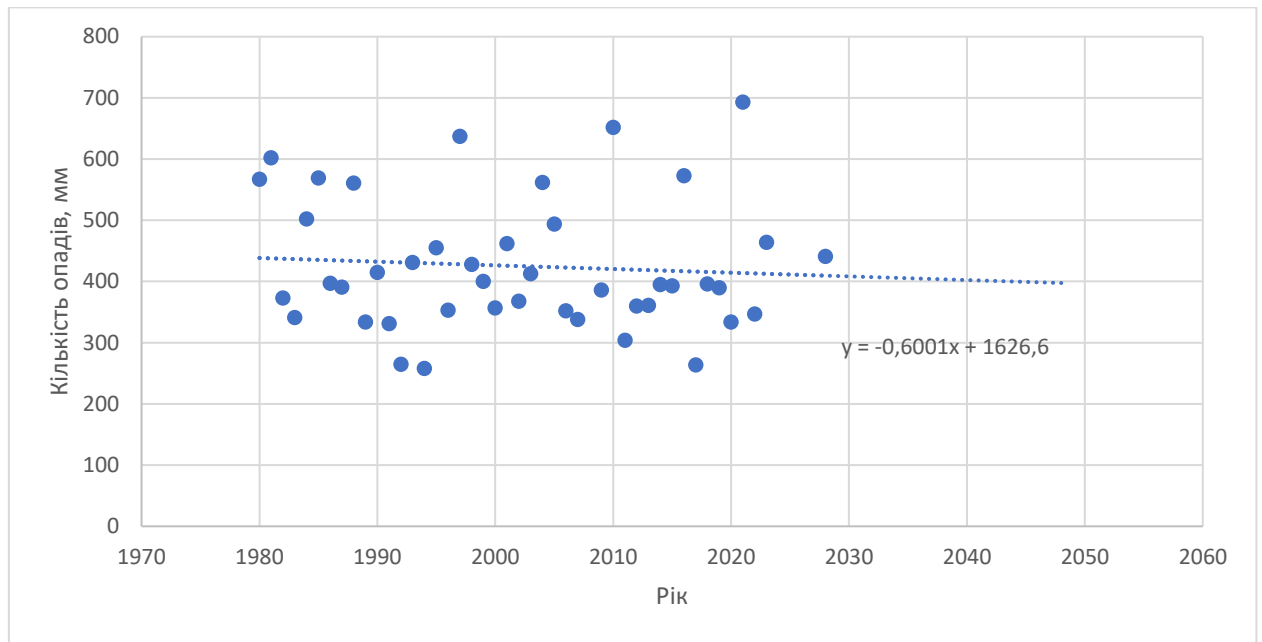


Рис. 2.10. Річна зміна кількості опадів упродовж 1980–2024 років по Миколаєву.

На рис. 2.11 подано динаміку змін кількості опадів та середніх температур упродовж 1980–2024 років по Миколаєву. Графік свідчить, що 2023 і 2024 роки були найспекотнішими роками за час спостережень, проте кількість опадів у ці роки не досягала свого мінімуму. Визначено кореляцію між параметрами часу та середньою температурою, яка дорівнює 0,7, що означає, що є сильний позитивний зв'язок між цими двома показниками [131].

Класифікація режимів зволоження помірних широт дозволяє диференціювати типи клімату за обсягом річних опадів: від надмірних (понад 1000 мм) у морських регіонах та помірних (500–1000 мм) у континентальних зонах до низьких (250–500 мм) у степах і критично малих (менше 250 мм) у напівпустелях. Хоча територія м. Миколаєва та області належить до степового

клімату, проте поступово наближається до напівпустельного. Наближення клімату до напівпустельного є серйозною зміною, яка може мати значні наслідки для екосистем, сільського господарства та життєдіяльності людей. Напівпустельний клімат характеризується сухістю, великою сезонною варіабельністю температур і обмеженою кількістю опадів.

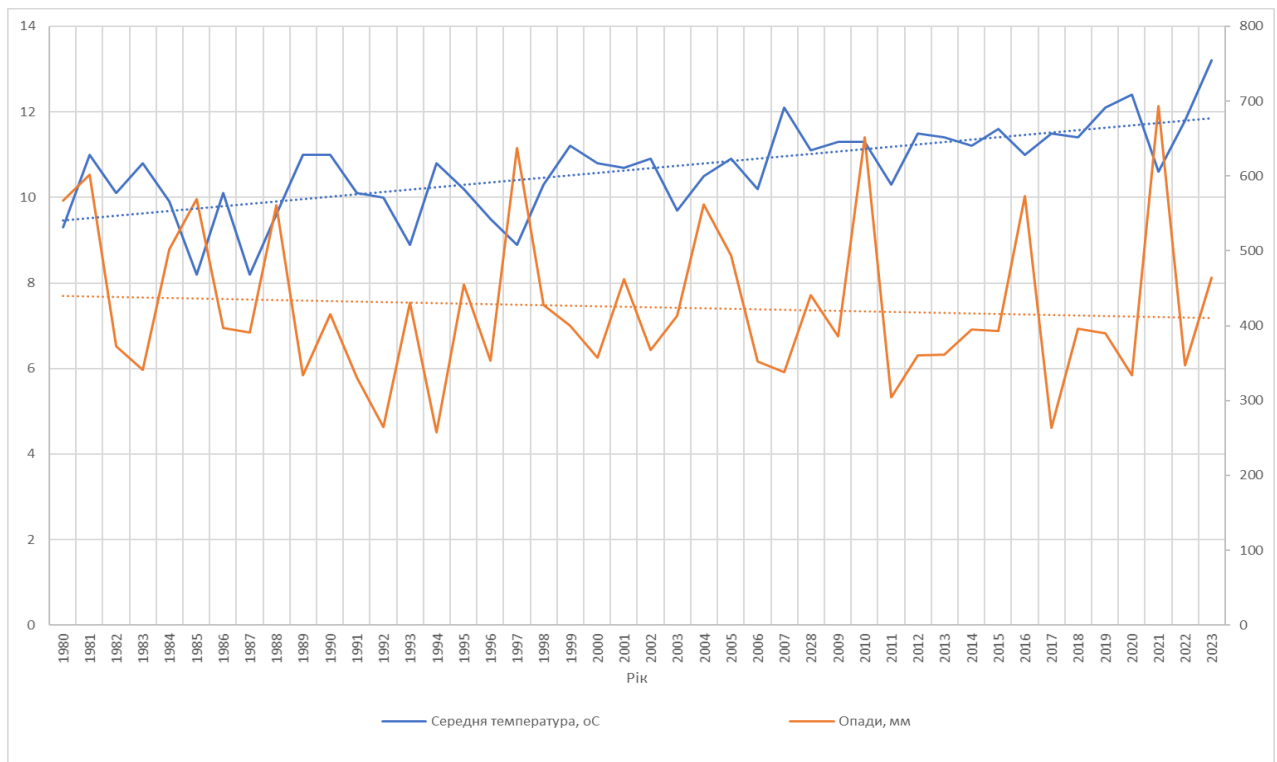


Рис. 2.11. Динаміка змін кількості опадів та середніх температур упродовж 1980–2024 років по Миколаєву.

Принципову різницю між степовим та напівпустельним кліматом наведено у табл. 2.4. Виходячи з основних ознак, що подано у табл. 2.4., основними відмінностями між степовим і напівпустельним кліматом є кількість і розподіл опадів, тип рослинності, температурні режими і родючість ґрунтів. Степовий клімат має більш сприятливі умови для розвитку густої трав'яної рослинності і є менш посушливим порівняно з напівпустельним кліматом, який характеризується більш розрідженою рослинністю і значними добовими коливаннями температур.

Таблиця 2.4

## Порівняльний аналіз між степовим та напівпустельним кліматом

Чинник	Степовий клімат	Напівпустельний
Температура атмосферного повітря	<ul style="list-style-type: none"> <li>Літні температури можуть бути високими, але зимові температури значно нижчі, з частими морозами.</li> <li>Добові коливання температури менш виражені, ніж у напівпустельному кліматі.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Літні температури можуть бути дуже високими, часто перевищуючи 30°C.</li> <li>Зимові температури можуть бути значно нижчими, з можливими морозами.</li> <li>Добові перепади температур дуже великі.</li> </ul>
Опади	<ul style="list-style-type: none"> <li>Річна кількість опадів у становить від 250 до 600 мм.</li> <li>Опади розподілені більш рівномірно упродовж року, з максимумом у весняний та літній періоди.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Річна кількість опадів варіюється від 150 до 400 мм.</li> <li>Опади менш регулярні і можуть випадати у вигляді злив.</li> </ul>
Рослинність	<ul style="list-style-type: none"> <li>Густий трав'яний покрив з домінуванням трав і злаків.</li> <li>Присутні чагарники, але дерев мало або зовсім відсутні.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Рослинний покрив розріджений, складається переважно з трав, чагарників і невеликих дерев.</li> <li>Рослини мають глибокі корені і листя, що зменшує втрату вологи.</li> </ul>
Ґрунти	<ul style="list-style-type: none"> <li>Чорноземи і каштанові ґрунти.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ґрунти часто малородючі, з низьким вмістом гумусу.</li> </ul>

Вважаємо зазначити, що близько 30 років спостерігається аномалії для широти й довготи Миколаєва та області. Загалом, якщо раніше 3/4 днів на рік панувала внутрішньо-широтна циркуляція, то в останні десятиліття значно посилюється міжширотний напрямок переміщення повітряних мас, про що свідчать чисельні карти переміщення повітряних мас гідрометеоцентрів [102].

За даними досліджень глобальної системи моніторингу Copernicus Climate Change Service, визначено, що встановився гребінь високого тиску між

двома областями високого тиску - над тропічною Північною Африкою і Арктикою. Це призводить до утворення стабільних і сухих умов, характерних для антициклонів. Для літа в північній півкулі це є нормою. Проте, раніше такий гребінь проходив значно західніше, а саме такі країни, як Італія, Іспанія, Франція. У 2024 році цей гребінь перемістився у країни Східної Європи, зокрема в Україну. Гребінь високого тиску зазвичай супроводжується стабільними погодними умовами, ясним небом та низькою вологістю.

Виникає питання: чи 2023 і 2024 роки є поодинокими випадками у плані встановлення гребню високого тиску? Чи такий характер циркуляції стане закономірністю?

Поки не можна однозначно відповісти на це питання, оскільки аномальні спеки спостерігались влітку 1998, 2000, 2002, 2010, 2017 років. З більш пізніх періодів – це були 1934, 1946, 1975, а влітку 1934 року посуха в Миколаєві тривала 137 днів. Проте, зміни в плані поступового підвищення температури останнім часом однозначно відбуваються.

Питання про те, чи 2023 і 2024 роки є поодинокими випадками встановлення гребню високого тиску, чи такий характер циркуляції стане закономірністю, є складним і вимагає аналізу різних чинників, включаючи кліматичні зміни та довготривалі тенденції в атмосферній циркуляції.

Для відповіді на це питання окреслимо чинники, що впливають на встановлення гребню високого тиску:

Зміни в глобальному кліматі можуть призвести до змін у поведінці атмосферної циркуляції, включаючи частоту і тривалість гребнів високого тиску.

Підвищення середньої глобальної температури може впливати на розподіл тиску і формування гребнів високого тиску.

Викиди парникових газів, зміни в землекористуванні, військові дії та інші антропогенні дії можуть змінювати регіональні кліматичні умови і впливати на атмосферну циркуляцію.

Природні кліматичні феномени, наприклад, такі як Ель-Ніньо та Ла-Нінья, можуть впливати на розподіл тиску і формування гребнів високого тиску.

До того, відповідь на поставлене питання вимагає аналіз історичних даних та моделювання. Аналіз кліматичних даних за останні десятиліття може допомогти визначити, чи є останні роки поодинокими випадками або частиною більш тривалої тенденції.

Дослідження вже показує, що частота і тривалість гребнів високого тиску збільшується через глобальне потепління, що призводить до більш частих екстремальних погодних явищ, таких як хвилі спеки і посухи.

Прогнозні розрахунки свідчать про значну ймовірність збільшення частоти та інтенсивності таких явищ у майбутньому, якщо глобальне потепління продовжиться.

Проте, щоб дати точну відповідь на питання, чи стануть такі явища закономірністю, необхідні подальші дослідження і аналізи. На даний момент існує тенденція до збільшення частоти і тривалості гребнів високого тиску через кліматичні зміни, але для визначення точної закономірності потрібні довготривалі спостереження і удосконалення кліматичних моделей.

Підіб'ємо деякі висновки, щодо можливих результатів змін клімату зі степового на напівпустельний. Серед основних наслідків для екосистем можливими є, які описано нижче.

Втрата біорізноманіття. Багато рослин і тварин, адаптованих до степових умов, можуть не вижити в більш сухих умовах напівпустелі. Це може призвести до вимирання видів або їх міграції.

Зміна рослинного покриву. Рослини, які потребують більше вологи, можуть поступитися місцем більш посухостійким видам, що може призвести до збільшення площ, вкритих чагарниками або навіть голим ґрунтом.

Збільшення температури призводить до того, що рослини замість поглинання вуглекислого газу і виділення кисню починають навпаки

поглинати кисень і виділяти вуглекислий газ. Таке явище називають «кашель замість дихання» через температурний стрес, або фотореспірація!

Фотореспірація також зростає при нестачі вологи. Це явище також підкреслює обмеженість ролі рослинного покриву Землі у поглинанні вуглекислого газу з атмосфери, як ефективного способу адаптації до кліматичних змін. Один сприятливий для фотосинтезу чинником нівелюється іншим несприятливим. Наразі 75% антропогенних викидів поглинаються Світовим океаном, але прогнози вказують на те, що вже з 2050-х років океан може перетворитися на чисте джерело вуглекислого газу [45]. Існує ризик, що океан може перетворитися на чисте джерело CO<sub>2</sub>, особливо через деградацію морських екосистем, таких як коралові рифи, та зменшення фітопланктону. Це може призвести до збільшення викидів CO<sub>2</sub> назад в атмосферу, підсилюючи ефекти глобального потепління [45].

Фотореспірація спричинює вивільнення вуглекислого газу у процесі перетворення гліцину на серин. Це знижує ефективність фіксації вуглецю рослинами. Зменшення ефективності фотосинтезу може впливати на загальний баланс Карбону в екосистемах, що може впливати на глобальний кругообіг вуглецю.

За умов підвищених температур і низького вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі фотореспірація знижує здатність рослин поглинати вуглекислий газ з атмосфери, що призводить до зменшення поглинання вуглекислого газу з атмосфери, що може впливати на концентрацію парникових газів і зміну клімату.

Фотореспірація знижує загальну продуктивність рослин, що може впливати на ріст і розвиток як окремих рослин, так і цілих екосистем. Зниження продуктивності рослин впливає на біомасу і врожайність, що відбивається на харчових ланцюгах і стійкості екосистем.

Разом з тим, фотореспірація допомагає рослинам справлятися з високими температурами і стресовими умовами, такими як посуха. Вона може

зменшувати утворення активних форм кисню, які є шкідливими для клітин, тим самим сприяючи виживанню рослин за умов стресу.

Зміни в інтенсивності фотореспірації у відповідь на глобальні зміни клімату можуть мати вплив на довгострокові кліматичні процеси і екосистеми. Відповідь рослин на підвищення температур і концентрації CO<sub>2</sub> у атмосфері впливатиме на ефективність фіксації карбону і, отже, на глобальний кліматичний баланс. Загалом, фотореспірація є важливим процесом, який впливає на функціонування екосистем і їхню здатність реагувати на зміни в довкіллі.

Окремо окреслимо вплив фотореспірації на водні екосистеми. Серед основних аспектів впливу:

Виділення Карбону та Нітрогену через продукування CO<sub>2</sub> і NH<sub>3</sub>, які можуть потрапляти в водні екосистеми через поверхневий стік. Ці викиди можуть призводити до підвищення рівня Карбону та Нітрогену у воді, що впливає на хімічний склад і біологічну активність у водних екосистемах.

Евтрофікація через збільшення рівня Нітрогену у водних екосистемах, при чому надлишок поживних речовин призводить до бурхливого росту водоростей, після їх загибелі спостерігається дефіцит кисню у воді (гіпоксії), впливаючи на різні гідробіонти.

Вплив на рослинний покрив узбережжя через те, що рослини, що ростуть вздовж узбережжя водних екосистем, можуть виділяти продукти фотореспірації, які змиваються у воду під час дощів або поливу. Це може змінити хімічний склад води, впливаючи на мікробіологічні процеси і біорізноманіття у водних екосистемах.

Зміна біологічної продуктивності через зменшення ефективності фотосинтезу і продуктивності рослин, що може вплинути на кількість органічної речовини, яка потрапляє у водні екосистеми через розкладання рослин. Це впливає на харчові ланцюги і продуктивність водних екосистем,

зокрема на популяції риб і інших водних організмів, що залежать від органічної речовини.

Зміни клімату, такі як підвищення температури і зміни в режимі опадів, можуть впливати на частоту і інтенсивність фотореспірації у рослин. Це може змінити кількість і склад продуктів фотореспірації, що потрапляють у водні екосистеми, впливаючи на їх екологічний стан.

Отже, розуміння впливу фотореспірації на водні екосистеми і вжиття заходів для зменшення негативного впливу є важливими для збереження біорізноманіття та стабільності водних екосистем у контексті змін клімату.

Наступним наслідком підвищення температурного режиму і зменшення кількості опадів є зниження продуктивності ґрунту. Менша кількість опадів призведе до зниження родючості ґрунту, що ускладнить ріст рослин.

Зниження кількості опадів зменшить доступність прісної води, що вплине на всі аспекти економіки, які залежать від водних ресурсів, включаючи сільське господарство, промисловість та побутове водопостачання.

Далі зменшення рослинного покриву призведе до посилення ерозії ґрунту, що зробить землі менш придатними для сільського господарства і збільшить ризик утворення пустель. Втрата рослинного покриву збільшить кількість пилу, який піднімається в повітря, що погіршить якість повітря та видимість. До того, ерозія ґрунтів призведе до змивання часток ґрунту у водойми, що знижує якість води та спричиняє замулення річок і озер. Забруднені водні ресурси негативно впливають на водну фауну і можуть ускладнювати доступ до чистої питної води.

Зміна локальних кліматичних умов може вплинути на глобальні кліматичні процеси, такі як циркуляція повітряних мас та зміни у моделях опадів. Так, локальні зміни температури, наприклад, через втрату рослинності, військові дії або урбанізацію, можуть змінювати температурні градієнти в регіоні, а це впливає на циркуляцію повітряних мас, що може змінювати

напрямки і швидкість вітрів, впливаючи на ширші атмосферні циркуляційні системи.

Зміна рослинного покриву, військові дії або урбанізація змінюють альбедо місцевості, що впливає на локальні температури та циркуляцію повітряних мас. Міські райони набувають більшої здатності створювати ефект теплового острова, де температура значно вища, ніж у навколишніх сільських районах.

Локальні зміни температури і кількості опадів впливатимуть на утворення хмар.

Ці наслідки можуть бути взаємопов'язаними та мати комплексний вплив на різні аспекти життя та навколишнє середовище. Важливо вживати заходів для пом'якшення негативних наслідків та адаптації до нових кліматичних умов.

Вважаємо, що у перспективі варто досліджувати процеси відновлення малих та великих гідрологічних циклів і мікробіому ґрунтів, які відіграють вагомую роль у регулюванні енергетичного балансу планети і згладжуванні екстремальних кліматичних явищ, незалежно від концентрації типових парникових газів у повітрі. Це завдання вирішується через застосування регенеративних природоохоронних та сільськогосподарських практик. Отже, густа рослинність і особливо її біорізноманіття залишаються надзвичайно важливими.

Отже, проаналізовано основні кліматичні показники, що впливають на стан водних екосистем Миколаївської області. Зокрема, розглянуто температурний режим і кількість опадів за період 1980–2024 рр. За цей час середньорічна температура в регіоні значно зросла — у середньому на  $0,61^{\circ}\text{C}$  за десятиліття, що перевищує світові показники. Встановлено стійке зростання максимальної температури повітря, збільшення кількості спекотних днів і «тропічних ночей».

Опади мають нестійкий характер. Загальна їх кількість зменшується, водночас зростає частка зливових дощів. Річна кількість опадів у регіоні складає 409–469 мм, що свідчить про критично недостатнє зволоження. За коефіцієнтом Селянінова Миколаївщина належить до зон помірно сухого та дуже сухого клімату.

Такі зміни свідчать про процес аридизації південних територій області, що створює ризики для водних ресурсів, сільського господарства та екосистем загалом. Зміна клімату вимагає адаптації природоохоронної політики, оновлення моніторингу та впровадження сталих рішень у водокористуванні.

### **Висновки до другого розділу**

Дослідження охоплює характеристику ключових кліматичних чинників, що впливають на водні екосистеми Миколаївської області, зокрема міста Миколаєва. Використано широкий спектр джерел – екологічні паспорти, статистичні звіти, кліматичні платформи (Google Earth Engine, Ventusky), дані Українського гідрометеоцентру, Copernicus тощо.

Основну увагу приділено температурному режиму. Встановлено, що з 1980 по 2024 рік середньорічна температура в регіоні зростала зі швидкістю 0,61°C/10 років, що суттєво перевищує глобальні темпи. Останнє десятиріччя стало найтеплішим за останні 6500 років. У 2024 році зафіксовані рекордні температури, що викликають тепловий стрес, збільшення кількості «тропічних ночей» та спекотних днів. Зафіксовано стійке зростання максимальної температури та зниження мінімальної, що сприяє появі температурних екстремумів і підвищує ризики для здоров'я та сільського господарства.

Визначено, що значну роль у зміні гідрокліматичних умов відіграє атмосферна волога. У регіоні фіксується дефіцит опадів (409–469 мм/рік), сезонний їхній перерозподіл та переважання зливових дощів. Коефіцієнт зволоження Селянінова (ГТК) вказує на переважання дуже сухих і помірно

сухих умов. Відзначено зростання частоти стихійних опадів, при цьому загальна кількість днів з опадами зменшується.

Фіксується тенденція до аридизації (опустелювання) південних районів області, що негативно впливає на водні ресурси та екосистеми. Зміни клімату створюють нові екологічні виклики, серед яких: зменшення водності річок, деградація ґрунтів, втрата біорізноманіття. Температурний тренд, зменшення опадів і зміна атмосферної циркуляції є ознаками кліматичних змін, які вимагають адаптації природоохоронної політики, модернізації систем моніторингу та стратегічного планування водокористування.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЕКОСИСТЕМИ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ У МЕЖАХ МІСТА МИКОЛАЄВА

#### 3.1. Характеристика об'єкту дослідження.

##### 3.1.1. Географічна та гідрологічна характеристика Південного Бугу.

Південний Буг третя за довжиною найбільша річка України, басейн якої повністю розташований у межах країни. Площа басейну річки – 63700 км<sup>2</sup> (рис. 3.1), довжина 806 км, середній похил – 0,40 м/км [65].

Південний Буг бере початок на Волино-Подільській височині поблизу с. Холодець Хмельницької області і впадає в Дніпро-Бузький лиман Чорного моря. Протікає центральними і південними областями України (Хмельницька, Вінницька, Кіровоградська, Одеська та Миколаївська області) через фізико-географічні зони лісостепу і степу. Уздовж русла річки на поверхню виходить найдавніше в Україні геологічне утворення – Український кристалічний щит, завдяки якому Південний Буг відомий своїми порогами [69].

Басейн Південного Бугу розташований в межах трьох геоструктурних районів: верхню частину басейну розміщено на Волино-Подільській височині, середня його частина знаходиться в межах Придніпровської височини, нижня течія належить до Причорноморської низовини.

У межах Волино-Подільської і Придніпровської височини рельєф басейну рівнинний; тут водозбір сильно розчленований глибоко врізаними річковими долинами і балками, а також сильно еродований. У верхній частині водозбір розчленовано мережею ярів та балок, глибина ерозії сягає 50–100 м. У середній частині водозбору глибина ерозії – 100–200 м, а густота яруго-балочної мережі 0,5–1,0 км/км<sup>2</sup>. Для нижньої частини водозбору характерними є плоский рельєф з численними западинами-блюдцями. Рівнина середньо розчленована з глибиною ерозії 50–100 м, густота яруго-балочної мережі 0,50–

0,75 км/км<sup>2</sup>. В основі плато залягають древні кристалічні породи (граніти, гнейси), в багатьох місцях виходять на поверхню, але часто перекриті морськими і континентальними третинними відкладами (піски, глини, мергелі) [65].

Верхню частину геологічного розрізу складають четвертинні відкладення. Розповсюджені вони усюди і відсутні лише на невеликих ділянках, де оголюються корінні породи. У берегових обривах оголюються шари ґрунтів і гірських порід, нерідко дуже стародавніх. На берегах часто знаходять численні свідчення стоянки стародавніх людей. Із сучасних геологічних процесів у межах басейну Південного Бугу найбільшого поширення набула ерозійна діяльність, заболочування, зсувні процеси, еолова діяльність, ерозія ґрунтів, а також локально-карстові явища.

У басейні на кристалічному фундаменті розташовано водоносні горизонти палеогену, неогену, сарматських, торонських відкладів тощо, перекритих горизонтами четвертинних відкладів. Водоносний горизонт останніх широко використовується для аграрного виробництва, а також для водопостачання.

Основним джерелом якісного водопостачання багатьох населених пунктів є води кристалічних порід докембрію, розповсюджені в тріщинуватих зонах у межах Українського кристалічного щита.

Мінералізація вод всіх водоносних горизонтів збільшується на південний схід басейну, досягаючи значень 1,5 г/дм<sup>3</sup> і більше [65; 68].

За характером ґрунтового покриву басейн Південного Бугу відноситься до лісостепу та степу. Поверхневий покрив складається із лесів і лесовидних суглинків, чим пояснюється перевага пилеватих легкосуглинистих і піщано-середньосуглинистих ґрунтів. Ґрунти переважно сірі опідзолені, у верхів'ї місцями чорноземні.

Ґрунти в верхній частині басейну представлено світло-сірими суглинками. Центральну частину басейну вкривають слабо-гумусні чорноземи. На підвищених місцях рельєфу залягають опідзолені чорноземи.

Сучасний ґрунтовий покрив верхньої та середньої частин басейну Південного Бугу сформувався під впливом взаємодії ґрунтоутворюючих порід, рослинного покриву, рельєфу, клімату та господарської діяльності людини. В основному ґрунти сформувалися на карбонатних лесових відкладах. На рівнинних ділянках басейну під покривом степової рослинності утворились чорноземи глибокі, а на ділянках під лісовою рослинністю виникли лесові опідзолені ґрунти. На алювіальних відкладах у долинах річок утворилися лучні та торф'яно-болотні ґрунти.

Світло-сірі, темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені поширено у верхній і середній частині басейну. Світло-сірі ґрунти найбільше опідзолені та найменш гумусовані серед лісостепових опідзолених ґрунтів. Гумусо-елювіальний горизонт чорноземів опідзолених неглибокий (до 35 см). На південь від лінії, що проходить через Балту–Первомайськ (на правобережжі Кодими) розташовано зону різнотрав'яного степу. Ґрунтовий покрив тут представлено чорноземами, сформованими на важких суглинисто-лесових породах. У районі нижче м. Первомайська до с. Олександрівка Миколаївської області переважають чорноземи мало та середньогумусні, важко та легкосуглинисті. В пониззі Південного Бугу вони переходять в чорноземи слабосолонцюваті та каштанові ґрунти [68].

Одним із основних чинників, від яких залежить гідрологічний режим басейну, разом із кліматичними, ґрунтово-геологічними і геоморфологічними є рослинний покрив. Рослинність кількісно та якісно перерозподіляє опади і дуже змінює гідрологічний режим території.

Більша частина басейну Південного Бугу знаходиться у межах лісостепової зони і має досить багатий і різноманітний рослинний світ, що зумовлено сприятливим кліматом, рельєфом та родючими ґрунтами.

Природна рослинність обіймає тут 12% усієї площі. Із них 11% припадає на ліси, близько 1% – на луки і 0,5% – на болота.

Рослинність північно-західної частини басейну представлено молодими і середньовіковими широколистими лісами, які розташовано окремими масивами. Найпоширенішими породами дерев є дуб, граб, ясен, клен, липа, в'яз, вільха. З кущів та чагарників переважає ліщина, шипшина, жимолость тощо.

На південь ліси поступово змінюються на лісостеп і степ, спочатку ковилово-різнотравний, а потім ковилово-типчаківий. Степову рослинність представлено засухостійкими бобово-злаковими різнотравними асоціаціями – тимофіївкою, фіалкою, суницею, медункою, пирієм, волошкою, ковилою, кропивою тощо. Загалом, лісистість басейну становить близько 7%, заболоченість – 2%. Орними землями зайнято понад 70% території водозбору.

Усі ліси, які розташовано в басейні, розподілені на дві групи. До першої групи належать зелені зони навколо міст, селищ і промислових підприємств, ґрунтозахисні лісосмуги, водоохоронні прибережні захисні смуги, а також захисні лісові смуги уздовж залізних та шосейних доріг.

До другої групи відносяться експлуатаційні ліси, де допускається рубка, але не більше річного приросту. Ліси першої групи обіймають в басейні Південного Бугу 73% загальної площі лісового фонду, ліси другої групи – 27%.

На частині басейну Південного Бугу, що зайняті орними землями, обробляються, де вирощують культурні види рослин: пшеницю, цукрові буряки, кукурудзу, жито, горох, гречку тощо.

У флорі басейну є низка ендемічних видів рослин: волошка савранська, козельць великий тощо; також зустрічаються й реліктові види, а саме: хвощ великий, бруслина мала, медунка м'якенька тощо [67].

У формуванні клімату басейну Південного Бугу важливу роль відіграє циркуляція атмосфери, з якою пов'язано переміщення повітряних мас з Атлантики, Арктики і Середземномор'я.

У верхів'ї та в середній частині басейну клімат належить до помірно-континентального. Клімат південних районів перебуває під впливом Чорного моря і в нижній течії річки повільно переходить в посушливий.

Значна протяжність території басейну з північного заходу на південний схід спричиняє помітні відмінності в розподілі температури повітря. Середня річна температура повітря змінюється від 7,1°C до 10,0°C [67].

Середня багаторічна температура повітря у верхній і середній частинах басейну коливається в межах 7,1–8,1°C. Максимальна температура літом досягає +39°C, мінімальна температура в холодні дні зими до –38°C. Для цієї частини басейну зимовий сезон характеризується опадами у вигляді снігу, частими туманами. Середня висота снігового покриву становить від 10 до 15 см [67].

Весна відрізняється різким переходом від потепління до похолодання, від сухої погоди до дощової. У травні починає розвиватися грозова діяльність. Погодні умови літнього сезону відмічаються значним підвищенням температури, великою кількістю ясних днів, активної грозової діяльності.

Період осіннього сезону, особливо в другій половині, характеризується великою кількістю похмурих днів, тривалими опадами і туманами.

Річна норма опадів в верхній та середній частинах басейну становить від 669 мм до 550 мм, поступово зменшуючись з півночі на південь [67].

Нижня частина басейну річки Південний Буг розташована в межах степової зони України з помірно-континентальним кліматом для якої характерні тепле літо і м'яка нестійка зима. Середньорічна температура повітря тут коливається від 8,0°C до 10,0°C. Максимальна температура повітря, до +40 °C, спостерігається в липні-серпні місяцях. Мінімальна температура повітря до –35 °C відмічалась в січні місяці. В нижній частині басейну сніговий покрив встановлюється в другій половині грудня і руйнується в кінці лютого – на початку березня. Середня висота снігового

покриву 5–8 см. Глибина промерзання ґрунту в середній та нижній частині басейну може становити 20–50 см [67].

Річна кількість опадів в нижній частині басейну становить від 470 мм до 540 мм. Відносна середньорічна вологість повітря становить 60–65 %. Норми випаровування з водної поверхні складають в верхів'ї і середній частині басейну 530–625 мм, в пониззі 800–900 мм [67; 68].

Переважаючими вітрами в басейні є вітри північно-західних напрямів. Середньорічна швидкість вітру становить від 3,0 до 4,4 м/с, максимальна – перевищує 30 м/с [67; 68].

Живлення річки Південний Буг відбувається за рахунок талих вод у весняний і зимовий періоди та дощових опадів в літній. Підземний стік в басейні незначний.

Загалом рівнинний режим річки характеризується явно вираженою весняною повінню, низькою літньою меженню, яка іноді переривається під час проходження дощових паводків та осінньо-зимовими підйомами води. Пік повені сягає максимального значення в другій половині березня. Літня межень встановлюється в середині травня на початку червня. Найменші рівні спостерігаються в липні-серпні, на пригірловій ділянці – в вересні-жовтні. Найнижчі зимові рівні спостерігаються в кінці грудня – в першій половині січня.

У верхній течії Південний Буг замерзає в кінці листопада – на початку грудня. У середній та нижній течії – в другій половині грудня. Льодостав малостійкий, середня товщина льоду змінюється від 15 до 35 см, максимальна сягає 80 см. Скресання річки проходить в другій половині березня в верхній течії та в першій половині березня в нижній і середній течії. Очищення річок басейну від льоду відбувається в кінці березня на початку квітня.

Окреслимо гідрографічну мережу басейну річки Південний Буг. Разом на території басейну Південного Бугу протікає 6594 річки, серед них великих – 1, середніх – 11, малих – 6582 (з них 367 – довжиною більше 10 км). Загальна

довжина річок в басейні становить 22,4 тис. км, густина річкової сітки – 0,35 км/км<sup>2</sup> [67].

Вважаємо за необхідне охарактеризувати головні притоки Південного Бугу. Особливістю Південного Бугу є те, що ця річка фактично має лише одну велику притоку – річку Синюху, яка утворюється внаслідок злиття річок Велика Вись та Тікич. Довжина річки Синюхи складає 111 км, а її похил 0,46 м/км. Площа басейну Синюхи становить 16725 км<sup>2</sup>, що складає 26% від усієї площі водозбору Південного Бугу. У Південний Буг Синюха впадає в межах міста Первомайськ. Річкова долина трапецієподібна, часто асиметрична, завширшки 2,5 км. Схили розчленовано ярами, для яких характерні виходи скельних порід. Русло звивисте, завширшки до 40–50 м (у пониззі 90–120 м), завглибшки до 60 м. Місцями річка утворює пороги й перекати. Води річки використовуються на технічні потреби, аграрне виробництво, водопостачання, зрошення тощо. Прибережні смуги заліснені і залужені. На річці Синюха збудовано 3 водосховища і декілька кілька ГЕС [68].

Серед інших великих приток можна виокремити річку Інгул, площа басейну якої становить 9890 км<sup>2</sup>, а довжина складає 354 км. Річка судноплавна на 55 км від гирла до с. Пересадівка. Глибина річки переважно 0,7–1,2 м, максимальна до 1,5 м (у межень). Швидкість течії – до 0,5 м/с. Долина річки майже на всьому протязі трапецієподібна, завширшки до 4 км, завглибшки до 60 м. Похил річки складає 0,4 м/км [9]. Живлення переважно снігове і дощове. Замерзає у першій половині грудня, льодостав нестійкий; скресає наприкінці лютого – в першій половині березня. Притоки Інгулу: Сугоклія, Громоклія (праві); Біянка, Аджамка, Кам'янка, Березівка (ліві) тощо. На річці побудовано кілька водосховищ: Кіровоградське, Докучаєвське, Інгульське та Софіївське. Вода Інгулу використовується для водопостачання і зрошення. У басейні річки споруджено зрошувальну систему на площі 33 тис. га. Верхні ділянки Інгулу та його притоки зарегульовані – тут побудовані ставкові господарства, де розводять рибу. Річка впадає в Бузький лиман в межах м. Миколаєва [9].

Далі, річка Мертвовід є лівою притокою Південного Бугу, по якій проводяться постійні гідрохімічні спостереження. Вона впадає до Південного Бугу на південний-схід від міста Вознесенська. Довжина Мертвоводу 114 км, площа водозбірного басейну – 1820 км<sup>2</sup>. Долина річки переважно трапецієподібна, завширшки до 3 км, завглибшки до 40–50 м. Заплава завширшки 200–300 м, у пониззі до 1–1,5 км. Русло звивисте, його пересічна ширина у нижній течії до 20 м. Похил річки 1,8 м/км. Річку живлять 148 малих річок, що мають загальну довжину 565 км [65].

У басейні річки Південний Буг зустрічаються окремі невеликі озера в Хмельницькій, Черкаській, Одеській, Кіровоградській і Миколаївській областях, загальна площа яких становить 274 га [65].

До гідрологічної мережі річки належить Дніпро-Бузький лиман, який є мілководною затокою Чорного моря і відокремлений від нього Кінбурнською косою. Сполучається лиман з морем Кінбурнською протокою, через яку і здійснюється водообмін. На сході лиман межує з гирлом Дніпра, на півночі поступово переходить у річку Південний Буг. За своїми розмірами Дніпро-Бузький лиман є найбільшим на Чорному морі. Його площа становить 800 км<sup>2</sup>, об'єм води – 3 км<sup>3</sup>. Лиман є мілководним, його середня глибина становить 3,5–4 м. Характеристика основних притоків Південного Бугу наведено у табл. 3.1. На підставі даних табл. 3.1 побудовано діаграму розподілу притоків річки (рис. 3.1). Характерною особливістю басейну Південного Бугу, що виділяє його з поміж інших великих річок є дуже велика його зарегульованість. В басейні створено понад 8 тисяч штучних водойм, сумарний їх об'єм є близьким до 1,5 км<sup>3</sup>, що практично дорівнює стоку в маловодний рік 95 % забезпеченості [65].

Відзначимо цікавий факт, що співвідношення площ водозбору лівих притоків Південного Бугу (38144 м<sup>2</sup>) до правих (12471 м<sup>2</sup>) підпорядковуються закономірностям Фібоначчі (рис. 3.2).

Таблиця 3.1

## Основні притоки річки Південний Буг [65]

Назва	З якого берега впадає	Відстань від гирла, км	Довжина, км	Площа водозбору, км <sup>2</sup>
Бужок	Ліва	711	75	703
Вовк	Права	695	71	915
Іква	Ліва	669	57	505
Снивода	Ліва	614	58	906
Згар	Права	602	95	1160
Десна	Ліва	591	80	1400
Рів	Права	553	104	1160
Сільниця	Права	396	67	830
Соб	Ліва	395	115	2840
Удич	Ліва	347	56	861
Дохна	Права	330	68	1280
Савранка	Права	281	97	1770
Синиця	Ліва	274	78	765
Кодима	Права	201	149	2470
Синюха	Ліва	196	111	16700
Велика Корабельна	Ліва	176	45	550
Бакшала	Права	140	57	766
Мертвовід	Ліва	103	114	1820
Чичиклія	Права	75	156	2120
Гнилий Єланець	Ліва	61	103	1204
Інгул	Ліва	0	354	9890



Рис. 3.1. Розподіл площі водозбору притоків Південного Бугу (км<sup>2</sup>)  
підпорядковуються закономірностям Фібоначчі.

У басейні розташовано 160 водосховищ, загальною площею водного дзеркала 28068,5 га, сумарним об'ємом 843 млн м<sup>3</sup> (додаток В).

Басейн річки Південний Буг охоплює 8437 ставків, загальною площею понад 48 тис. га та сумарним об'ємом 618,2 млн. м<sup>3</sup> [9; 65].

На підставі окреслених гідро-географічних характеристик, відзначимо особливості басейну Південного Бугу:

- басейн річки повністю розташований України;
- водозбірна площа басейну річки Південний Буг знаходиться в межах Вінницької, Київської, Одеської, Хмельницької, Черкаської, Кіровоградської та Миколаївської областей;
- формування водності всього басейну припадає лише на території Хмельницької та Вінницької областей (46%);
- низька літньо-осіння межень через, що майже щорічно проводяться санітарні попуски з водосховищ Хмельницької та Вінницької областей для забезпечення екологічних витрат води в середній та нижній течіях Південного Бугу;
- найбільша притока – річка Синюха, площа басейну якої становить 26% від загальної площі Південного Бугу;

- досить висока насиченість розчинного кисню, чому сприятиме наявність порожистих ділянок, де відбувається перемішування води;
- басейн Південного Бугу вважається єдиною річкою Європи, що має порожисте русло річки;
- велика зарегульованість;
- завдяки розчленованості рельєфу та значні площі під орними землями достатньо великий твердий стік.

### **3.1.2. Особливості Бузького лиману.**

У фокусі уваги дослідження є Дніпровсько-Бузький лиман, який є найбільшим відкритим лиманом Чорного моря. Він розташований у межах пригірлових частинах річкових долин річок Дніпр і Південний Буг. З Чорним морем лиман сполучається протокою завширшки три кілометри між Очаківським мисом і Кінбурнською косою. Схему розташування лиманів подано на рис. 3.1. Площа лиману 800 км<sup>2</sup>, об'єм води – 3 млн км<sup>3</sup>. Пересічна глибина 6–7 метрів. Південні береги низькі, піщані, а північні – переважно високі (до 20–35 м), складаються з глинисто-піщаних порід. Природна солоність води у лимані коливається у межах 1–3% [9; 12].

Прибережну смугу Дніпровсько-Бузького лиману розчленовано короткими, але широкими і глибокими балками. У долинах Південного Бугу, Інгулу, Інгульця перші надзаплавні піщані тераси зустрічаються невеликими окремими ділянками. Найбільші масиви їх поширені в долині Південного Бугу біля сіл Ковалівка, Ново-Петрівка та Гур'ївка і міста Вознесенськ, в долині Інгулу біля села Піски, в долині Інгульця біля сіл Євгенівка і Павлівка.

Сам Дніпровсько-Бузький лиман складається з витягнутого в субширотному напрямі Дніпровського лиману довжиною 55 і шириною 15 кілометрів та Бузького лиману довжиною 82 кілометрів субмеридіального напрямку. Бузький лиман є складовою басейну ріки Південний Буг, розташовується в Причорноморській низовині (рис. 3.2).

Бузький лиман розташований на півдні Миколаївської області, є важливим природним об'єктом з унікальною екологічною системою. Лиман бере початок від Варварівського мосту у місті Миколаїв (рис 3.3). Довжина лиману складає 82 км, а ширина 11 км. Уздовж берегів лиману розташовано кілька кіс, зокрема Руська коса і Волоська коса.

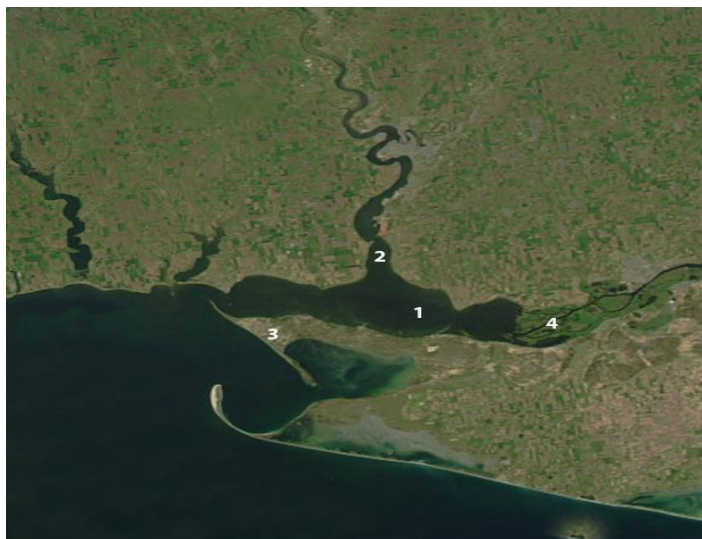


Рис. 3.2. Схема Дніпровсько-Бузького лиману: 1–Дніпровський лиман, 2–Бузький лиман, 3–Кінбурнський півострів, 4– гирло Дніпра.

За даними [9], середня річна температура Бузького лиману становить  $+10,0^{\circ}\text{C}$ , середня температура січня  $-3,4^{\circ}\text{C}$ , липня –  $+23,3^{\circ}\text{C}$ .

Уздовж русла розташовано бузькі плавні, які особливо розвинуті до широти міста Миколаєва, подекуди обіймають великі площі русла і долини, де очерет заходить у воду до глибини 1,5 м. Дно лівого берегу лиману вкрите черепашковими пісками. Солоність води коливається упродовж року від 0,3 до 9,5 г/л.

Розглянемо біологічну складову Бузького лиману, річок Інгул і Південний Буг. Фітопланктон є важливою частиною екосистеми, оскільки виконує роль основного продуцента органічної речовини через процес фотосинтезу, забезпечуючи живленням інші трофічні рівні. У водах Бузького лиману, Інгулу та Південного Бугу переважають зелені водорості

(Chlorophyta) та діатомові водорості (Bacillariophyta), які добре адаптовані до прісноводних умов та помірного рівня солоності. Існують також синьо-зелені водорості (Cyanobacteria), які за певних умов можуть активно розмножуватися, утворюючи цвітіння води. Цей процес може спричиняти небезпечні явища, такі як зниження рівня кисню та підвищення токсичності середовища. Зоопланктон представлений, насамперед, коловертками (Rotifera), веслоногими ракоподібними (Copepoda) та гіллястовусими ракоподібними (Cladocera). Ці організми є важливими компонентами харчових ланцюгів, оскільки забезпечують споживання фітопланктону та стають їжею для більш великих безхребетних і риб. Зоопланктон відіграє критичну роль у підтриманні екологічної рівноваги, але його чисельність і видовий склад можуть змінюватися під впливом забруднення води та змін фізико-хімічних параметрів. Донні організми (бентос) є важливою частиною екосистеми, оскільки відіграють роль деструкторів, розкладаючи органічні рештки та очищаючи дно від забруднюючих речовин. У складі бентосу Бузького лиману, Інгулу та Південного Бугу зустрічаються багатощетинкові черви (Polychaeta), малощетинкові черви (Oligochaeta), молюски (Mollusca) і личинки комах. Найбільшу роль у цьому регіоні відіграють різні види молюсків, які активно фільтрують воду, очищаючи її від завислих часток. Проте збільшення концентрацій важких металів і токсичних речовин може негативно впливати на бентосні спільноти, зменшуючи їх біомасу та видову різноманітність. Іхтіофауна акваторії представлена різними видами риб, які пристосовані до умов прісноводних екосистем. Найпоширеніші види – це карась звичайний (*Carassius carassius*), щука звичайна (*Esox lucius*), лящ (*Abramis brama*), окунь звичайний (*Perca fluviatilis*). Зустрічається тарань (*Rutilus rutilus*) та бички (Gobiidae). Тарань є одним із типових видів риб, які поширені у Бузькому лимані та прилеглих річках. Вона адаптована до різних умов середовища, що дозволяє їй виживати навіть за певного забруднення води. Тарань виконує важливу екологічну роль у харчовій мережі, адже вона

споживає зоопланктон, личинки комах і є об'єктом живлення для хижих риб. Бички, що належать до родини Gobiidae, також є важливою складовою іхтіофауни в цьому регіоні. Вони пристосовані до життя на дні, де харчуються безхребетними, такими як черви та дрібні ракоподібні. Бички відіграють значну роль у біоценозі як ланка трофічного ланцюга, споживаючи зоопланктон та дрібніших організмів і стаючи здобиччю для більших риб, зокрема щуки та окуня. Тарань та бички разом з іншими видами є важливими показниками екологічного стану вод, оскільки реагують на зміну якості води та рівень забруднення. Риби є ключовою складовою біоценозу, адже вони виконують регулятивну функцію, контролюючи чисельність інших водних організмів, особливо зоопланктону та макрзообентосу. Зміна хімічного складу води та наявність забруднювачів (зокрема важких металів і органічних речовин) може спричинити порушення у фізіології риб та зменшення їх чисельності.

Водна рослинність, або макрофіти, відіграє важливу роль у підтриманні біологічного різноманіття, а також у регуляції водного режиму та якості води. Серед них зустрічаються очерет (*Phragmites australis*), рогіз (*Typha*), водяний горіх (*Trapa natans*), а також різні види куширів (*Ceratophyllum*) та елодей (*Elodea*). Макрофіти є середовищем існування для багатьох безхребетних і молоді риб, а також виконують роль біофільтра, поглинаючи надлишкові поживні речовини, а також важкі метали та інші забрудники. Інтенсивний розвиток макрофітів сприяє стабілізації донних відкладів, але їх надмірний ріст може бути спричинений евтрофікацією вод.

Отже, біологічна складова Бузького лиману, річок Інгул та Південного Бугу представлена різноманітними групами організмів, кожна з яких виконує важливу екологічну функцію. Стабільність та якість їхнього існування залежить від якості водного середовища, яку слід підтримувати, особливо в умовах значного антропогенного впливу на дану екосистему.

Через високе навантаження на водні екосистеми за умов міста, біологічна складова зазнає негативного впливу від антропогенних чинників. Зокрема, викиди відходів, підвищення рівня хімічних забруднювачів (такі як важкі метали, нітрати, фосфати) та зміни температурного режиму спричиняють дестабілізацію умов існування водних організмів, знижують сталість екосистеми до стресових чинників і призводять до втрати біорізноманіття.

Окреслимо чинники, які впливають на сталість та надійність гідроекосистеми.

- Сталість екосистеми залежить від стабільності рівнів забруднюючих речовин, таких як сульфати, нітрати, фосфати. Перевищення граничних норм знижує здатність екосистеми до самовідновлення. Отже, рівень забруднення та хімічний склад води визначають сталість водної екосистеми.

- Перевищення показників жорсткості та лужності (особливо в літній та осінній періоди) вказує на нестабільність, що може негативно позначитись на видовому складі.

- Тенденції до підвищення або зниження концентрацій забруднювачів, які були відмічені в зимові та весняні періоди, також впливають на сталість, особливо зважаючи на природні цикли оновлення води.

Жорсткість і лужність води можуть значно впливати на біорізноманіття водної екосистеми. У воді з підвищеною жорсткістю зростає концентрація кальцію, що може стимулювати розвиток певних видів водоростей, але гальмувати інші. Така зміна складу фітопланктону може дестабілізувати харчові ланцюги, впливаючи на зоопланктон і риб, що споживають ці організми.

Підвищений рівень кальцію може ускладнювати осморегуляцію у деяких видів риб, особливо тих, які не пристосовані до високої жорсткості. Це може знижувати їхню здатність до виживання, росту і репродукції. У жорсткій воді можуть залишатися лише ті види, які добре адаптуються до високого

вмісту солей кальцію та магнію, тоді як чутливі види зникають, що призводить до зниження видового різноманіття.

За високої лужності зменшується кількість видів, які можуть існувати в такому середовищі, і перевагу отримують види, які добре витримують змінені хімічні умови. Це може призводити до витіснення слабких або спеціалізованих видів, що знижує загальне біорізноманіття. Лужність підтримує рівень рН, що сприяє швидкому росту деяких видів водоростей. За умови надмірної кількості поживних речовин у воді це може спричинити евтрофікацію, коли бурхливий розвиток водоростей призводить до зниження кисню у воді та загибелі риб і інших водних організмів.

Підвищена жорсткість і лужність можуть впливати на різні види водної флори і фауни, але найбільше вони зачіпають чутливі організми, зокрема деякі види водоростей, ракоподібних, молюсків та риб, а саме:

- Діатомові водорості (Bacillariophyta) та зелені водорості (Chlorophyta) є відносно стійкими до змін жорсткості і лужності, але при підвищенні цих параметрів відбувається зміна видового складу, деякі види починають домінувати, витісняючи менш стійкі види. Наприклад, надлишок кальцію та магнію може стимулювати певні види зелених водоростей, що призводить до зміни екологічної рівноваги.

- Синьо-зелені водорості (Cyanobacteria), які часто розмножуються в лужних умовах, можуть стати домінуючими за підвищеної лужності, що спричиняє цвітіння води та створює загрозу іншим організмам через виділення токсинів.

- Веслоногі ракоподібні (Copepoda) та гіллястовусі ракоподібні (Cladocera) більш чутливі до змін жорсткості. Занадто високий рівень кальцію може призвести до порушення їхнього іонного балансу, знижуючи їхню виживаність і репродуктивність. Це може зменшити чисельність цих організмів, що негативно вплине на харчовий ланцюг.

- Молюски (Mollusca), зокрема двостулкові молюски, чутливі до жорсткості, оскільки високий рівень кальцію може ускладнювати процес формування їхніх раковин, а також погіршувати процеси обміну речовин. Це може знижувати чисельність молюсків, які є важливими фільтраторами води, що вплине на її якість.

- Багатощетинкові черви (Polychaeta) та малощетинкові черви (Oligochaeta) теж можуть зазнавати стресу при зміні жорсткості, оскільки вони мешкають у придонних шарах, де вплив хімічних змін є особливо сильним.

- Тарань (*Rutilus rutilus*) та бички (Gobiidae) можуть відчувати негативний вплив через порушення осморегуляції при високій жорсткості, оскільки кальцій і магній у великих концентраціях можуть ускладнювати підтримання іонного балансу у їхніх тканинах. Це може призводити до зниження фізіологічної активності риб, їх зростання і розмноження.

- Інші види риб, такі як карась звичайний (*Carassius carassius*), який більш стійкий до високої жорсткості, можуть не зазнати значних змін у таких умовах, але загальне погіршення стану води може опосередковано вплинути на них через зменшення кількості кормових організмів [67].

Отже, найбільше підвищена жорсткість та лужність впливають на діатомові та зелені водорості, зоопланктон (веслоногі і гіллястовусі ракоподібні), бентос (молюски та черви) і деякі види риб, зокрема тарань та бички, які чутливі до змін йонного складу води. Жорсткість та лужність можуть створювати стресові умови для організмів, менш адаптованих до таких показників, і впливати на видовий склад, скорочуючи біорізноманіття та змінюючи екологічну рівновагу в бік більш стійких, але менш чутливих видів. Ці характеристики визначають здатність екосистеми адаптуватися до навантажень та відновлюватися.

Для подальшого вивчення особливостей Бузького лиману вважаємо за необхідне описати його геологічну будову та ґрунти. Лиман розташовано на території Причорноморська низовина, яка протягається на південь від

Придніпровської і Волино-Подільської височин (рис. 3.3). Причорноморська низовина – це великий природний регіон, що простягається вздовж узбережжя Чорного моря в південно-східній Європі. Вона охоплює частини України, Румунії, Болгарії, Туреччини і деякі інші сусідні країни. Низовина є важливою географічною та екологічною зоною з різноманітними природними ресурсами.



Рис. 3.3. Схема розташування Бузького лиману біля міста Миколаєва:

- 1 – місто Миколаїв; 2 – р. Південний Буг;  
3 – р. Інгул; 4 – Варварівський міст; 5 – Бузький лиман.

Визначимо основні характеристики Причорноморської низовини.

1. Географічні особливості полягають у тім, що низовина має рівнинний і плоский рельєф, з незначними підвищеннями і низинами. В окремих місцях спостерігаються невеликі пагорби і річкові системи. На півдні межує з Чорним морем, на заході – з річками Дунай і Дністер, на сході – з річками Дніпро і Дон, а на півночі – з Подільською і Воронежською височинами.

2. Континентальний клімат з помірним теплим літом і холодною зимою, а також впливом субтропічного клімату у прибережних зонах. Річна кількість опадів змінюється залежно від місця розташування, але загалом помірна. В прибережних зонах опади можуть бути більш частими завдяки морському впливу.

3. Низовина характеризується степовими і лісостеповими зонами. У прибережних районах можуть бути представники середземноморської рослинності. Основні види: трав'яні степи, чагарники, дубові і букові ліси.

4. Низовина є домівкою для численних видів ссавців, птахів, рептилій і безхребетних. Можна зустріти зайців, лисиць, кабанів, а також різних видів птахів, таких як журавлі, соколи і орли.

5. Низовина перетинається багатьма ріками, зокрема Дністер, Дунай, Дніпро, Південний Буг, а також є численними озерами і водосховищами. Вода в ріках і водоймах використовується для сільського господарства, водопостачання і промислових потреб., яка характеризується нескладною геологічною будовою [12].

Причорноморська низовина пролягає на докембрійському кристалічному фундаменті, який залягає на глибині 100–250 м у північній частині низовини і на глибині 500–1000 м – у південній. В цьому напрямку збільшується товща осадових відкладів, які залягають на кристалічному фундаменті.

У будові поверхні Причорноморської низовини беруть участь відклади неогену і антропогену. З неогенових відкладів вище місцевого базису ерозії залягають утворення сарматського, міотичного і понтичного ярусів, представлені глинами з прошарками вапняків і мергелю, вапняками та іншими осадовими відкладами [9].

Надзаплавні лесові тераси займають значні площі. Їх ширина в долині Південного Бугу становить 2–3 км, в долині Інгулу і Інгульця – близько 15–20 км. Ґрунти лесових терас відрізняються більш легким механічним складом. Ширина заплав у межах досліджуваної території складає 1–2 км [12].

Більша частина Миколаївської області знаходиться у межах Причорноморської низовини. На півночі простягаються Подільська височина (правобережжя Південного Бугу) та Придніпровська височина (лівобережжя Південного Бугу).

Ґрунтовий покрив у північній частині області представлений переважно чорноземами глибокими, далі на південь – чорноземами звичайними та південними, а в приморській смузі – темно-каштановими ґрунтами на лесових породах.

Серед цих зональних ґрунтів на значно менших площах сформувалися чорноземи на щільних глинах, елювії щільних карбонатних та некарбонатних порід, піски, а також лучно-чорноземні, лучні та інші ґрунти.

Чорноземи глибокі на лесових породах мають поширення у Кривоозерському, Врадіївському та Первомайському районах. Це одні з найбільш родючих ґрунтів області.

У районі нижче м. Первомайська до с. Олександрівка Миколаївської області переважають чорноземи мало та середньогумусні, важко та легкосуглинисті. У пониззі Південного Бугу вони переходять в чорноземи слабосолонцюваті та каштанові ґрунти [67].

За характером ґрунтового покриву Бузький лиман відноситься до степової зони. Оскільки Бузький лиман розташований на півдні області, то ґрунти тут чорноземи слабо солонцюваті, що переходять в каштанові ґрунти.

Далі в описанні об'єкту дослідження постала необхідність описати рослинність Бузького лиману, яка представлена лісами, луками, водно-болотистою та степовою рослинністю.

Ліси зосереджені в балках, так звані байрачні ліси. Байрачні ліси представлені дубом звичайним. Підлісок утворює клен татарський.

Луки представлені такими рослинами: вівсяниця бороздчата, мятлик вузьколистий, пирій повзучий, вівсяниця лугова, вейник наземний. мітлиця біла, тонконіг вузьколистий, лядвенець рогатий, лисохвіст роздутий тощо.

Болота зосереджені в заплаві пониззя річки Південний Буг. Рослинний покрив представлений очерету з включеннями рогозу широколистого, рогозу вузьколистого та очерету озерного. Місцями зустрічаються насадження вільхи чорної та верби білої.

Для степової рослинності найхарактернішими є формації ковили волосистої, вівсяниці бороздчатої і полину лугового, пирію, волошки, ковилою, кропивою тощо.

Загалом, лісистість лиману є дуже низькою і складає близько 7%, заболоченість – 2%. Значна територія водозабору лиману зайнята орними землями і складає близько 70% [9].

Оскільки Бузький лиман є гирловою частиною річки Південний Буг та входить до її басейну, розглянемо кліматичні умови всього басейну.

У формуванні клімату басейну Південного Бугу важливу роль відіграє циркуляція атмосфери, з якою пов'язано переміщення повітряних мас з Атлантики, Арктики і Середземномор'я. Середньорічна температура повітря тут коливається від 8,0 °С до 10,0°С [67].

У верхів'ї та в середній частині басейну клімат є помірним континентальним, для якого характерні спекотне літо і м'яка нестійка зима. Клімат південної частини Південного Бугу та Бузького лиману перебуває під впливом Чорного моря і в нижній течії річки повільно переходить в посушливий.

Максимальна температура повітря може досягати близько +41°С, спостерігається в липні-серпні місяцях. Мінімальна температура повітря до –35 °С відмічалась в січні місяці. Сніговий покрив встановлюється в другій половині грудня і руйнується в кінці лютого – на початку березня. Середня висота снігового покриву 5–8 см. Глибина промерзання ґрунту в середній та нижній частині басейну коливається від 20 до 50 см [67].

Річна кількість опадів становить від 470 мм до 540 мм. Відносна середньорічна вологість повітря становить 60–65%. Норми випаровування з водної поверхні складають 800–900 мм [67].

Переважаючими вітрами в басейні є вітри північно-західних напрямів. Середньорічна швидкість вітру становить від 3,0 до 4,4 м/с, максимальна – перевищує 30 м/с [67].

Живлення річки Південний Буг та Бузького лиману відбувається за рахунок талих вод у весняний і зимовий періоди та дощових опадів в літній. Підземний стік в басейні незначний.

Гідрологічний режим лиману характеризується слабо вираженою весняною повінню, низькою літньою меженню, яка іноді переривається під час проходження дощових паводків та осінньо-зимовими підйомами води.

Пік повені сягає максимального значення в другій половині березня. Літня межень встановлюється в середині травня на початку червня. Найменші рівні спостерігаються в липні-серпні, на пригирловій ділянці – в вересні-жовтні. Найнижчі зимові рівні спостерігаються в кінці грудня – в першій половині січня.

За даними [9], у верхній течії Південний Буг замерзає в кінці листопада – на початку грудня. В середній та нижній течії – в другій половині грудня. Льодостав малостійкий, середня товщина льоду змінюється від 15 до 35 см, максимальна сягає 80 см. Скресання річки проходить в другій половині березня в верхній течії та в першій половині березня в нижній і середній течії. Очищення річок басейну від льоду відбувається в кінці березня на початку квітня. Проте, вважаємо зазначити, що останні десятиліття характеризується відсутністю стійкого льодоставу упродовж зимового періоду.

Отже, басейн річки Південний Буг повністю розташований в межах України й охоплює різні геоморфологічні зони, що зумовлює різноманіття рельєфу, кліматичних і гідрологічних умов. Значна зарегульованість водотоків (понад 8 тис. водойм) змінює природний стік і потребує управління для забезпечення екологічних витрат води в середній і нижній течії. У межах міста Миколаєва водна екосистема зазнає серйозного антропогенного впливу – зростає рівень забруднення хімічними речовинами (нітрати, фосфати, важкі метали), що погіршує якість води. Підвищені рівні жорсткості та лужності води негативно впливають на біорізноманіття, сприяють розвитку стійких, але менш чутливих видів, а також загрожують евтрофікацією. Найбільш

вразливими є зоопланктон (Cladocera, Copepoda), молюски (Mollusca) та риби (тарань, бички), що реагують на зміни хімічного складу води. Стійкість екосистеми залежить від балансу між природними процесами та антропогенним навантаженням, тому необхідно впроваджувати комплексні заходи з моніторингу та охорони водних ресурсів.

### **3.2. Температурний режим річки Південний Буг у межах міста Миколаєва.**

Температура поверхневих вод – один з основних інтегрованих фізичних показників, значення якого залежить від багатьох чинників, а саме:

- температури атмосферного повітря;
- активності сонячної радіації;
- кількості опадів;
- швидкості та напрямку вітру;
- швидкості і напрямку течії;
- водності тощо.

Визначимо динаміку температури води. Рис. 3.4 демонструє зміну середньої температури води у межах міста Миколаєва упродовж з 1980 по 2024 роки. Графік формує лінію тренду підвищення середньої температури води з коефіцієнтом детермінації 0,7, що вказує на сталість закономірності й на найближчі двадцять років подальше її підвищення.

Для однозначності прогнозних закономірностей щодо змін температур води у межах міста Миколаєва побудовано графік змін максимальних річних температур упродовж 1980–2024 років (рис. 3.5). Графік формує лінію тренду підвищення максимальної температури води, що знов вказує на сталість закономірності на найближчі двадцять років.

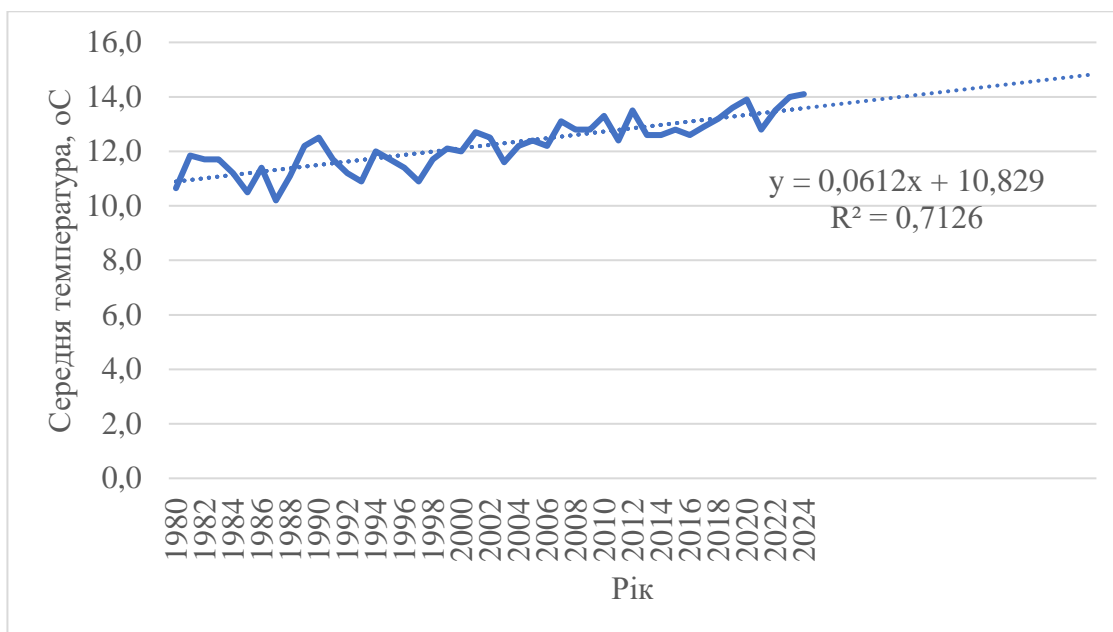


Рис. 3.4. Динаміка зміни середньої температури води у межах міста Миколаєва упродовж 1980–2024 років.

Аналогічно з попередніми результатами (рис. 3.4), визначено сталу тенденцію до поступового лінійного зростання максимальних температур води. Найбільша максимальна температура (понад 30°C) спостерігалась у 1998, 2005, 2010, 2011, 2012, 2013, 2016, 2017, 2021 роках; тобто останнє десятиліття характеризується значними підвищеннями температури води.

Побудовано тренд зростання мінімальних температур, що подано на рис. 3.7, згідно даних додатку Б. Мінімальна температура тримається на рівні 0,0°C. Проте найнижча температура спостерігалась у 1983, 1992, 1995 роках. Разом з тим, 2020 рік характеризувався найвищою мінімальною температурою, яка складала 1,0°C. Відмічено, що лінія тренду мінімальної температури води вказує на сталість закономірності її збільшення на найближчі двадцять років.

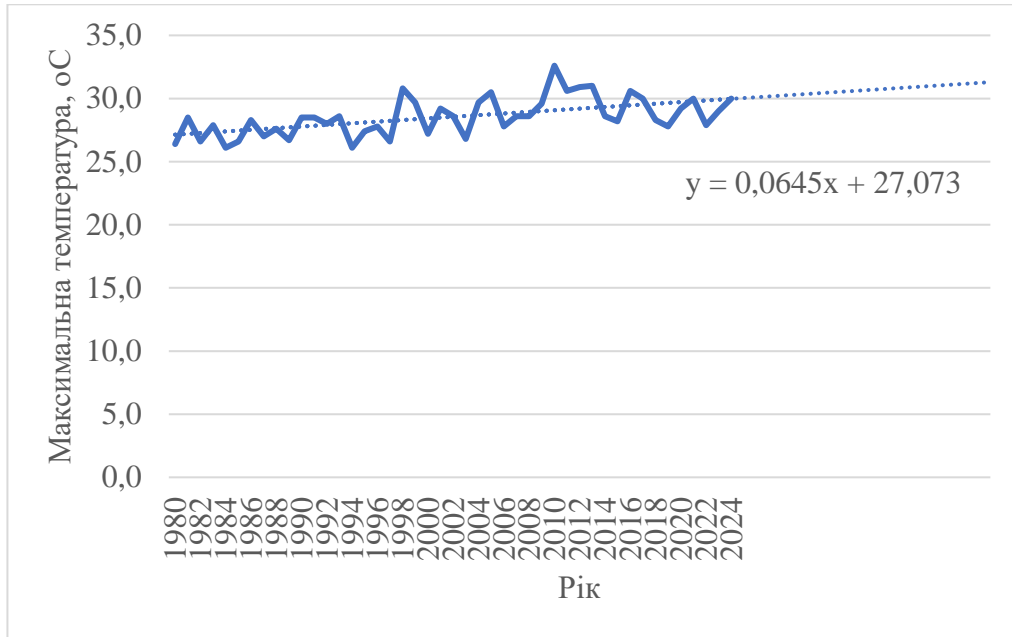


Рис. 3.5. Динаміка зміни максимальної температури води у межах міста Миколаєва упродовж з 1980–2024 років.

Графік рис. 3.6 демонструє повільне, але стає підвищення мінімальної температури, що може свідчити про прояви глобального потепління на локальному рівні.

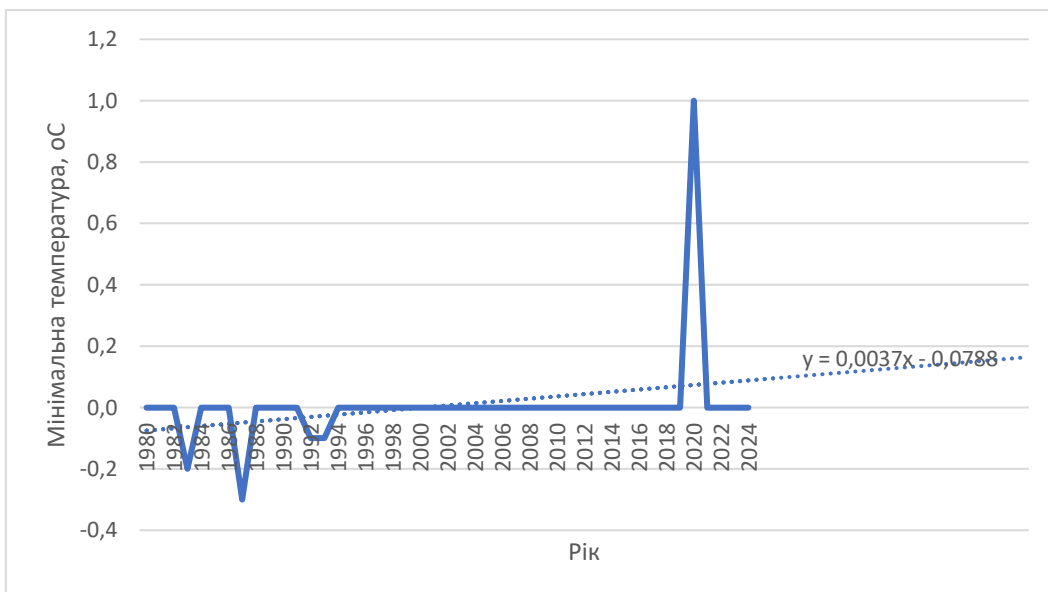


Рис. 3.6. Динаміка зміни мінімальної температури води у межах міста Миколаєва упродовж з 1980–2024 років.

### 3.3. Дослідження зарегульованості басейну річки Південний Буг.

Однією з особливостей басейну річки Південний Буг є значна зарегульованість. Зарегульованість річки відноситься до змін у природному режимі річкового стоку, викликаних людською діяльністю і включає будівництво дамб, водосховищ, каналів та інших гідротехнічних споруд. Зарегульованість може мати низьку екологічних наслідків, а саме: впливати на місця проживання риби і інших водних організмів, змінюючи умови для їх життя; може призводити до зменшення чисельності та видового різноманіття водних організмів; може змінювати температурний режим води, концентрацію кисню та рівень забруднення.

Основна роль водосховищ та дамб полягає у регулюванні водного стоку; забезпеченні питною водою населених пунктів та промислових підприємств; використання для зрошення сільськогосподарських угідь; для потреб гідроенергетики, а також з метою рекреації та рибальства: водосховища використовуються для відпочинку та рибальства, що також має економічне значення.

Враховуючи означені вище наслідки зарегульованості, перед нами постало завдання дослідити динаміку створення водосховищ, порівняти обсяги водосховищ по областях та провести аналіз динаміки ємності водосховищ басейну річки Південний Буг.

Водосховища басейну річки південний Буг розташовано у межах Хмельницької, Вінницької, Київської, Черкаської, Кіровоградської, Одеської, та Миколаївської областей. На рис. 3.7 подано схему, яка демонструє розподіл корисного обсягу водосховищ по областях (на основі даних додатку В).

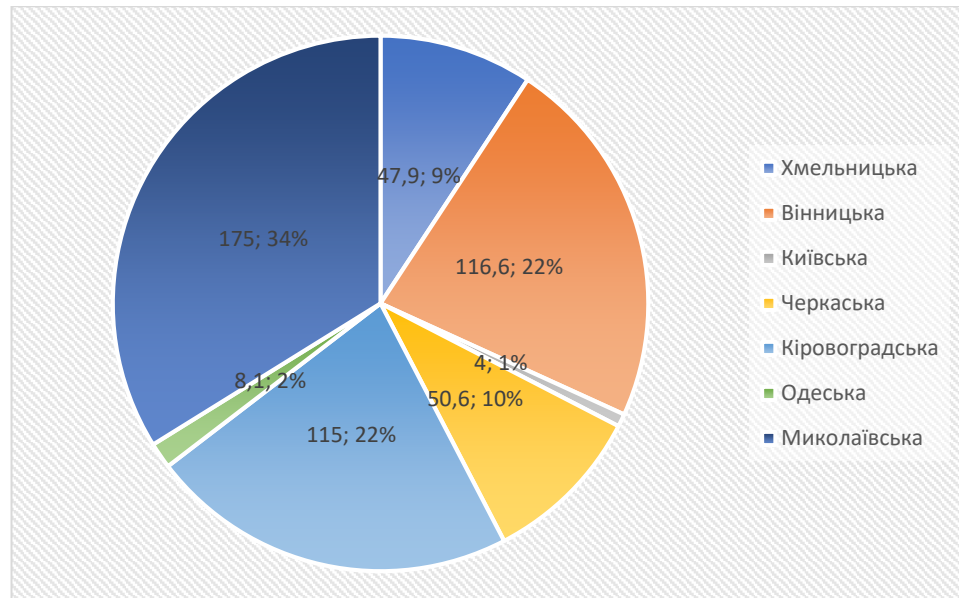


Рис. 3.7. Обсяг водосховищ (млн куб. м /%)  
басейну річки Південний Буг по областях.

Схема рис. 3.7 свідчить, що найбільший корисний обсяг водосховищ припадає на Миколаївську область (34%), а найменший – на Київську область (1%). Інші області розподіляються наступним чином: Вінницька (22%), Кіровоградська (22%), Черкаська (10%), Хмельницька (9%) та Одеська (2%).

На рис. 3.8 подано схему, яка демонструє розподіл площі водного дзеркала водосховищ в га по областях басейну річки. Дані свідчать, що найбільша площа дзеркала припадає на Вінницьку область (31%), а найменша – на Київську та Одеську області (2%). Інші області розподіляються наступним чином: Кіровоградська (19%), Миколаївська (18%), Хмельницька (16%), Черкаська (12%).

У середині ХХ століття 1951–1970 роки, а саме, у період 1951–1960 років відбулося суттєве збільшення обсягу водосховищ до 62,8 млн куб. м. Найбільше зростання спостерігалось у 1961–1970 роках, коли обсяг досягнув 152,8 млн куб. м.

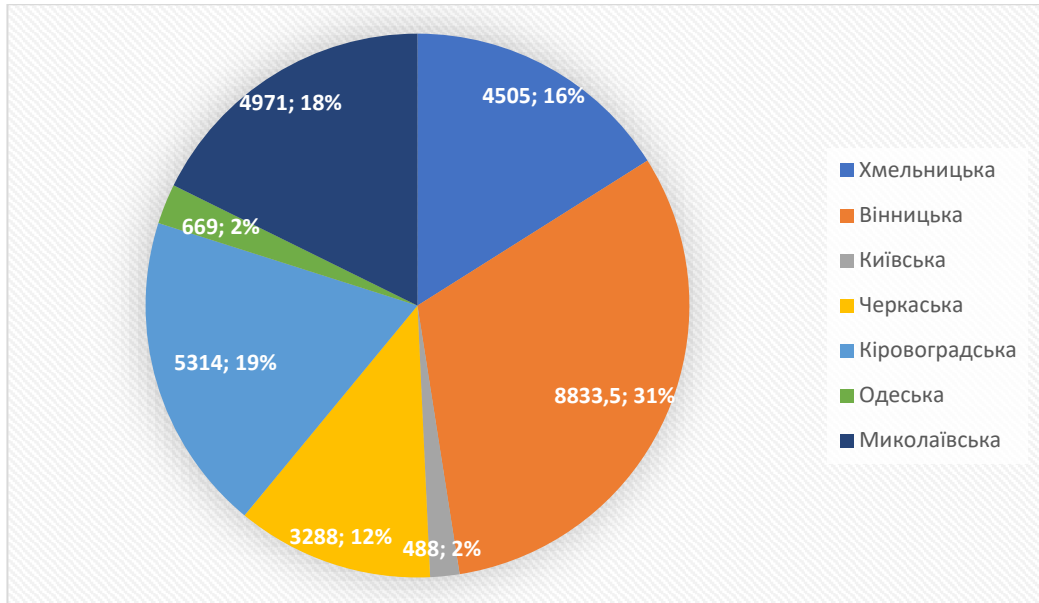


Рис. 3.8. Площа водного дзеркала водосховищ басейну річки Південний Буг по областях.

Діаграма рис. 3.9. показує динаміку збільшення корисного обсягу водосховищ в басейні Південного Бугу з 1890-х років. Окреслимо ключові моменти. У початковий період 1890–1950 роки обсяги водосховищ до 1950 року були дуже низькими. Невелике збільшення обсягів спостерігалось в період 1890–1900 (3,3 млн куб. м), а також у 1921–1930 (2,5 млн куб. м). Практично відсутні нові водосховища в періоди 1901–1910, 1931–1940.

Наприкінці ХХ століття 1971–2000 роки, а саме у період 1971–1980 років обсяги знизилися до 61,9 млн куб. м, проте ще залишалось значним показником. Далі, у 1981–1990 роках обсяги впали до 21,6 млн куб. м, що свідчить про зниження темпів будівництва. Від 1991 до 2000 років спостерігається ще більше зменшення обсягу до 1,3 млн куб. м.

На початку ХХІ століття 2001–2024 роки, а саме у період 2001–2010 років обсяг становив лише 1 млн куб. м. У 2011–2020 роках спостерігається незначне збільшення обсягу до 2,03 млн куб. м. У період 2021–2024 років не спостерігалось нового будівництва водосховищ.

Отже, найбільший обсяг водосховищ було створено в середині ХХ століття, особливо в період 1961–1970 років. Після 1970-х років темпи будівництва водосховищ значно знизилися. В останні десятиліття (2001-2024 роки) обсяг нових водосховищ був дуже низьким, що може свідчити про зміну підходу до управління водними ресурсами або обмеження в будівництві нових об'єктів. Ці зміни пов'язані з економічними, екологічними або соціальними чинниками, які впливають на розвиток інфраструктури водопостачання.

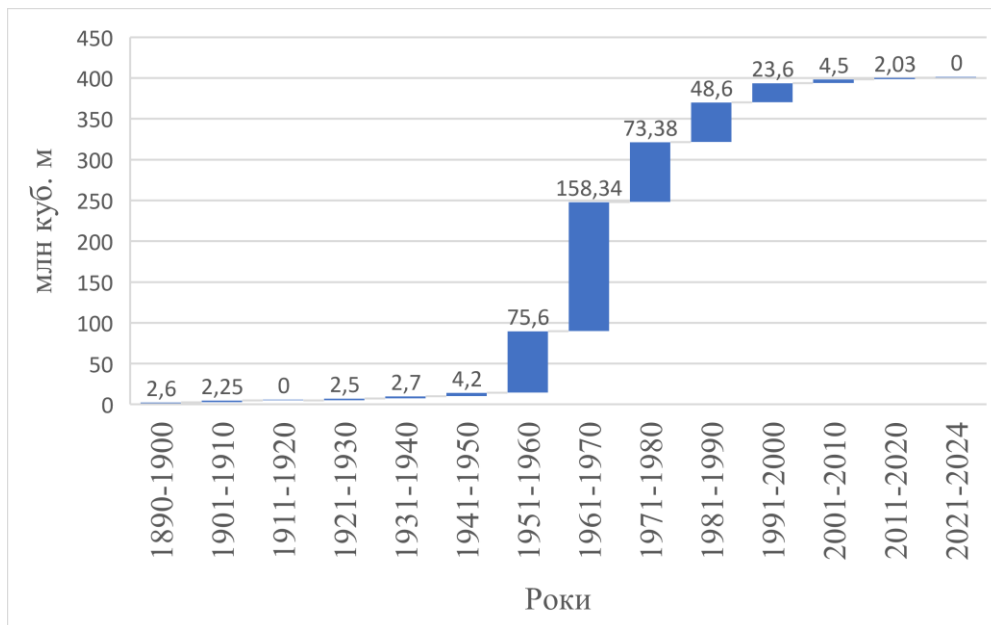


Рис. 3.9. Динаміка ємності водосховищ басейну річки Південний Буг.

Оскільки найбільший корисний обсяг водосховищ припадає на Миколаївську область (34%), проаналізуємо динаміку ємності водосховищ басейну річки по даній території. Діаграма рис. 3.10 вказує, що найбільше зростання обсягів водосховищ припадає на період 60-х років ХХ ст.

У період 1890–1950 років обсяги водосховищ були дуже низькими або відсутніми. Збільшення обсягу починається тільки у 1921-1930 роках (2,5 млн куб. м) та 1890–1900 роках (3,3 млн куб. м). У середині ХХ століття у період 1951–1970 років, особливо у 1951–1960 роки, відбулося суттєве збільшення обсягу водосховищ до 47,4 млн куб. м. Наступний період, 1961–1970 роки, показує ще більше зростання до 43,02 млн куб. м.

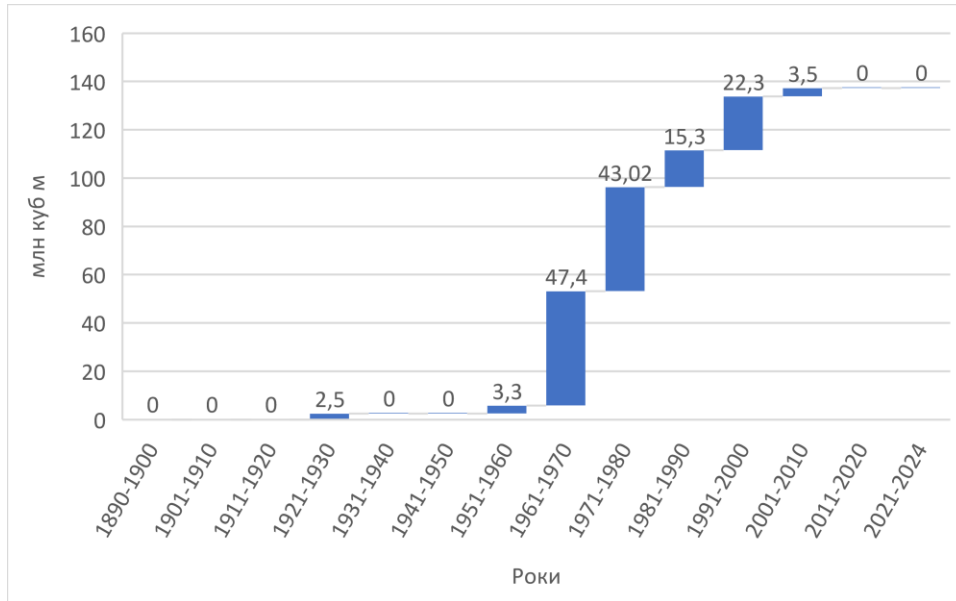


Рис. 3.10. Динаміка ємності водосховищ річки Південний Буг у межах Миколаївської області.

Наприкінці ХХ століття 1971–2000 роки, а саме у період 1971–1980 років обсяги збільшилися до 22,3 млн куб. м. У 1981–1990 роках обсяг зріс до 15,3 млн куб. м. Від 1991 до 2000 років обсяг трохи зріс до 3,5 млн куб. м.

На початку ХХІ століття (2001-2024 роки), у період 2001–2010 років обсяг залишився незмінним. У період 2011–2020 років та 2021–2024 років нових водосховищ не будувалися.

Отже, найбільший обсяг водосховищ було створено в середині ХХ століття, особливо в період 1951–1970 років. Після 1970-х років темпи будівництва водосховищ значно знизилися. В останні десятиліття (2001–2024 роки) обсяг нових водосховищ був дуже низьким, що може свідчити про зміну підходу до управління водними ресурсами або обмеження в будівництві нових об'єктів. Ці зміни пов'язано з економічними і екологічними факторами, які впливають на розвиток інфраструктури водопостачання [122].

Проаналізуємо щільність побудови водосховищ вздовж річки, використовуючи дані додатку В про відстань від гирла річки (рис. 3.11). Так, на відстані від гирла 0–100 км розташовано 14 водосховищ. На відстані від

гирла 100–200 км – 6 водосховищ. Далі, на відстань від гирла 200–300 км – 11 водосховищ. На відстані від гирла 300–400 км побудовано 9 водосховищ. На відстані від гирла 400–500 км – 8 водосховищ. На відстані 500–600 км функціонує 8 водосховищ. Далі, на відстані від гирла 600–700 км – 9 водосховищ. На відстані від гирла 700–806 км – 5 водосховищ.

Отже, висока щільність водосховищ спостерігається на відстанях від 100 до 200 км та від 0 до 100 км від гирла річки, з 16 та 14 водосховищами відповідно. Середня щільність побудови водосховищ спостерігається на відстанях від 200 до 300 км та від 600 до 700 км з 11 та 9 водосховищами відповідно. Нижча щільність водосховищ спостерігається на відстанях від 300 до 400 км, від 400 до 500 км та від 500 до 600 км з 9, 8 та 8 водосховищами відповідно. Найнижча щільність побудови водосховищ спостерігається на відстанях від 700 до 806 км з 5 водосховищами [122].



Рис. 3.11. Щільність розташування водосховищ річки Південний Буг.

Так, на основі даних графіку рис. 3.11 та додатку В визначено, що середня щільність водосховищ вздовж річки Південний Буг становить приблизно 9,93 водосховища на кожні 100 км річки. На основі попереднього

розрахунку середньої щільності на 100 км (9,93) можна оцінити середню щільність на 10 км. Середня щільність на кожні 10 км  $\approx 9,93/10 \approx 0,993 \approx 1$

Отже, приблизна середня щільність водойм становить близько одного водосховища на кожні 10 км, що знову доводить факт про високу зарегульованість річки. Така висока щільність водосховищ вказує на те, що водні ресурси річки активно використовуються для різних потреб, таких як сільське господарство, промисловість, питне водопостачання та рекреація. З одного боку, велика кількість водосховищ допомагає регулювати стік річки, запобігаючи повеням та забезпечуючи стабільний водний режим протягом року. З іншого боку, інтенсивна зарегульованість має негативний вплив на екосистему річки, зокрема на біорізноманіття, рибні запаси та якість води. Перебудова природного русла та створення багатьох водосховищ призводять до змін в екосистемах, які можуть бути несприятливими для багатьох видів рослин і тварин. До того, водосховища можуть сприяти розвитку регіону, забезпечуючи водопостачання, іригацію та енергетику. З іншого боку, це може створювати виклики, пов'язані з управлінням водними ресурсами та підтримкою екологічного балансу.

Загалом, така щільність водосховищ свідчить про значний рівень зарегульованості річки, що має як свої переваги, так і виклики, які мають бути враховано при управлінні водними ресурсами.

#### **3.4. Дослідження стану поверхневих вод в акваторії міста Миколаєва.**

Після вивчення морфологічних, фізичних особливостей гідроекосистеми Південного Бугу та окреслення питання зарегульованості річки, постало завдання щодо моніторингових досліджень якості поверхневих вод, а саме інтегрованих гідрохімічних показників, які визначають особливі характеристики водної екосистеми.

Дослідження виконувалось за підтримки Програми ООН у співпраці з управлінням екології та природних ресурсів Миколаївської ОВА. Основні результати оприлюднено на відповідних сайтах [33; 48].

Для відбору зразків використовували чистий посуд з інертних матеріалів (скло, поліетилен або поліпропілен). Підходили до місця відбору зразка з низової сторони потоку, щоб уникнути збурення осадів. Посуд занурювали у воду на глибину приблизно 20–30 см, тримаючи його відкритим у напрямку проти течії. Наповнювали посуд до країв, уникаючи потрапляння повітря. Герметично закривали посуд після відбору. Кожен зразок був маркований із зазначенням дати, часу, місця відбору. Фіксували інформацію про погодні умови, рівень води та інші чинники, які можуть вплинути на результати. Зразки зберігали в прохолодному темному місці. Аналіз проводили протягом 24 годин після відбору проб. Якщо проводився аналіз на метали, зразки були консервовані додаванням кількох крапель концентрованої азотної кислоти.

Результати дослідження якості поверхневих вод по пунктах спостережень: с. Прибузьке, Веснянської територіальної громади, Миколаївський район Миколаївської області; Нижня Набережна м. Миколаєва; мкр. Яхт-клуб м Миколаєва; мкр. Намив м. Миколаєва подано в таблицях Додатку Д.

Визначено, що рівень рН стабільний, варіюється від 7,5 до 7,9, що відповідає нормі (6,5–8,5); жорсткість значно підвищується у лютому 4114 мг/дм<sup>3</sup>, що значно перевищує інші показники, можливо, вказуючи на певну аномалію; рівень сульфатів варіюється від 140 до 590 мг/дм<sup>3</sup>; концентрація фосфатів в основному відповідає нормі, але показує коливання; рівень нітратів перевищував ГДК у січні. У деяких місяцях дані відсутні. Рівень нітритів низький та відповідає нормі; рівень заліза незначно коливається, залишаючись в межах норми.

Значення мінералізації знижуються в зимові місяці з піковими значеннями восени, а потім різко знижуються у квітні до 691 мг/дм<sup>3</sup>, що нижче

ГДК. У квітні значення мінералізації найнижче (691 мг/дм<sup>3</sup>), що може бути пов'язане з природними змінами (рис. 3.12).

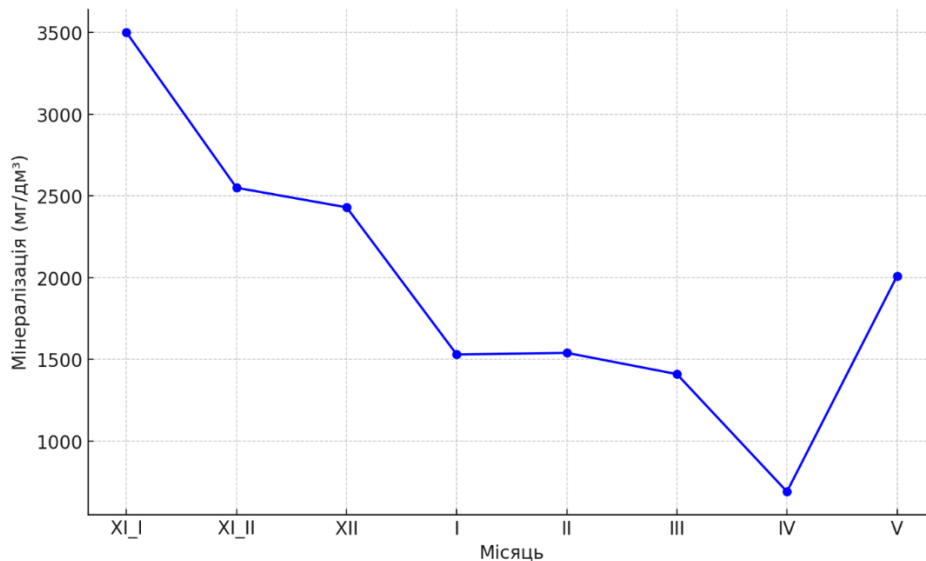


Рис. 3.12. Динаміка мінералізації води упродовж листопада.

2023 – травень 2024 років (с. Прибузьке, Веснянської територіальної громади, Миколаївського району Миколаївської області).

Графік рис. 3.12 показує зміну мінералізації води упродовж різних місяців. Спостерігається загальна тенденція до зниження мінералізації від початку спостережень до квітня, з незначними коливаннями в січні-березні. У травні мінералізація різко зростає. Кореляція між часом і мінералізацією є негативною в період з листопада до квітня, але спостерігається суттєве підвищення у травні. Це може свідчити про сезонні зміни в умовах водного об'єкту, які впливають на концентрацію розчинених речовин у воді.

Дані моніторингу якості води, згідно табл. Д.2 (Додаток Д), засвідчили про перевищення ГДК за такими показниками:

- лужність;
- жорсткість кальцієва;
- мінералізація.

У деяких випадках спостерігається перевищенням за такими показниками, як: сульфіді; хлориди; фосфати; хром.

Рис. 3.13. демонструє динаміку температури атмосферного повітря та води.

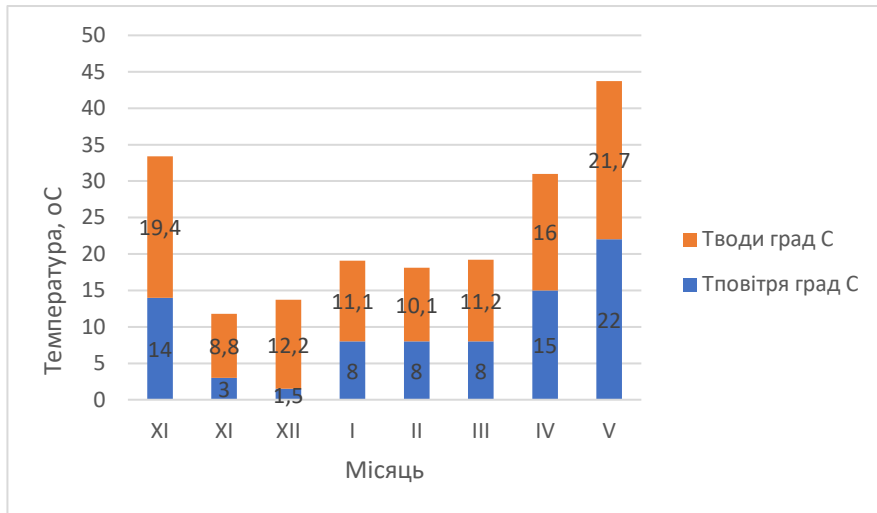


Рис. 3.13. Динаміка температури атмосферного повітря та води.

Коефіцієнт кореляції Пірсона між температурою повітря та води становить приблизно 0,95. Це свідчить про дуже сильну позитивну кореляцію: коли температура повітря підвищується, температура води також зростає, і навпаки. Цей високий коефіцієнт кореляції означає, що існує тісний зв'язок між температурою повітря та води упродовж досліджуваних місяців.

Дані про мінералізацію води за місяцями, виражену в мг/дм<sup>3</sup> наведено на рис. 3.14. Значення порівнюються з гранично допустимою концентрацією (ГДК), яка становить 1000 мг/дм<sup>3</sup>.

Мінералізація води значно перевищує ГДК (1000 мг/дм<sup>3</sup>) упродовж усього періоду спостережень. Найвищі значення спостерігаються в листопаді (3610 мг/дм<sup>3</sup>) та грудні (3070 мг/дм<sup>3</sup>). Тенденція зниження мінералізації починається після листопада, досягаючи найнижчого рівня у квітні (1560 мг/дм<sup>3</sup>), після чого в травні знову спостерігається зростання до 2410 мг/дм<sup>3</sup>. Це свідчить про сезонні коливання мінералізації, яка залишається значно вищою

за допустимі норми протягом усього періоду. Коефіцієнт кореляції між періодом року та мінералізацією становить приблизно  $-0.81$ . Це вказує на сильну негативну кореляцію, тобто з наближенням до весни мінералізація знижується, а потім частково зростає в травні.

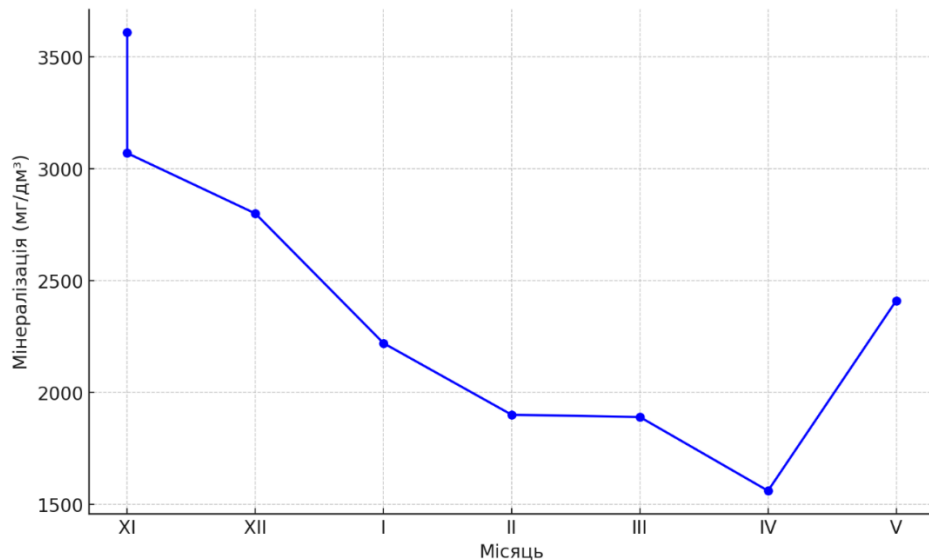


Рис. 3.14. Динаміка мінералізації води упродовж листопада 2023 – травень 2024 років (Нижня Набережна, м. Миколаїв).

Аналіз даних табл. Д.3 (Додаток Д) по пункту спостережень – Яхт-Клуб вказує, що температурні коливання повітря і води відповідають сезонним змінам. рН води варіюється від 7,2 до 8,2, що вкладається у допустимі межі. Значення лужності коливаються від 138 до 345 мг/дм<sup>3</sup>. Значні коливання можуть бути пов'язані зі змінами джерел водопостачання або впливом біогенних процесів. Жорсткість кальцієва значно перевищують ГДК у лютому (3870 мг/дм<sup>3</sup>), що вказує на дуже високий вміст кальцію у воді цього місяця. Різкий сплеск може бути наслідком потрапляння до води великої кількості кальцієвмісних сполук. Перевищення вмісту сульфатів у листопаді пов'язано із підвищеною мінералізацією. Значення сульфідів у воді зазвичай дорівнюють нулю, лише у листопаді XI\_1 спостерігається 0,36 мг/дм<sup>3</sup>, що не є критичним. Сульфіди не становлять суттєвої загрози для якості води. Значення фосфатів не перевищують ГДК, варіюються від 0 до 2,19 мг/дм<sup>3</sup>. Фосфати у нормі, що

свідчить про відсутність значного органічного забруднення. Всі значення знаходяться значно нижче ГДК, що є позитивним показником. Вміст нітратів низький, що свідчить про відсутність надмірного надходження сполук нітрогену. Нітроти також в нормі, отже, не відбувається значних процесів розкладу органіки.

Проте, значення мінералізації варіюються від 1810 до 3360 мг/дм<sup>3</sup>. Коливання мінералізації можуть бути пов'язані зі змінами в складі джерел води або сезонними змінами. Каламутність варіюється від 10 до 21 NTU, що також свідчить про певні сезонні коливання якості води.

Отже, визначено, що температурні параметри (повітря та води) відображають сезонні зміни. Вплив сезону також відчутний у мінералізації та жорсткості води. Є ознаки підвищеного вмісту сульфатів у листопаді. Основні параметри (рН, нітрати, нітроти) залишаються стабільними та у межах допустимих норм, що свідчить про відсутність значних забруднень. Аналіз показує, що, хоча більшість параметрів води знаходяться в межах допустимих значень, окремі показники (жорсткість кальцієва, сульфати) в деякі періоди перевищують норми, що може вказувати на можливі джерела забруднення або специфічні процеси у водних об'єктах.

На графіку рис. 3.15 показано зміни мінералізації води залежно від пори року. Результати кореляційного аналізу показують, що коефіцієнт кореляції між порядковим номером сезону та мінералізацією дорівнює -0,88, що вказує на сильний негативний зв'язок. Значення ймовірності значущості  $p$ -value становить 0,004, що свідчить про статистично значущу кореляцію. Прийнято нульову гіпотезу ( $H_0$ ), що припускає відсутність про відсутність кореляції між мінералізацією і місяцями. Отримано  $p$ -value  $\leq 0.05$ , що означає статистично значущий результат, і ми відкидаємо нульову гіпотезу. Отже, існує чітка залежність між порою року та мінералізацією води: з настанням весни мінералізація знижується, а восени спостерігається її підвищення.

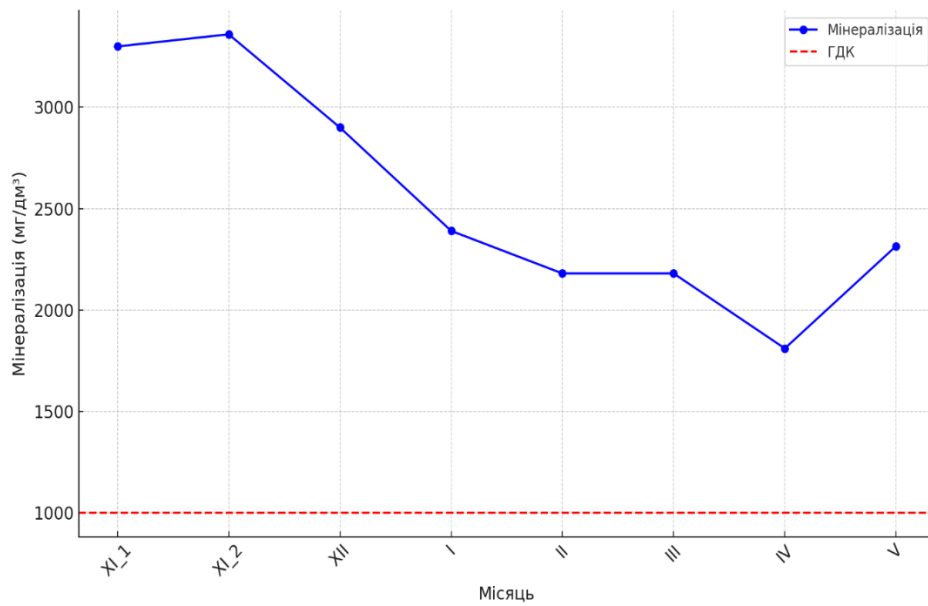


Рис. 3.15. Динаміка мінералізації води упродовж листопада 2023 – травень 2024 років (мкр. Яхт-Клуб, м. Миколаїв).

Відповідно даних табл. Д.4 (Додаток Д), визначено закономірності. Температура повітря та води відповідає природним сезонним змінам. Значення рН залишаються в межах 7,3–8,1, що вказує на слаболужне середовище. Це нормальний діапазон для природної води. Лужність значно зростає у зимові місяці (січень, лютий), що може бути пов'язано з процесами замерзання та обмеженим змішуванням води. Жорсткість значно зростає в лютому (до 4200 мг/дм<sup>3</sup>), що є аномальним показником порівняно з іншими місяцями. Мінералізація залишається на високому рівні упродовж усього періоду, з невеликими коливаннями. Показники сульфатів перевищують ГДК у всі місяці, що пов'язано з високою мінералізацією. Показники заліза в листопаді і березні перевищують інші місяці, що може свідчити про локальні забруднення або природні джерела. Каламутність змінюється з місяця на місяць, що може вказувати на природні процеси. Отже, значне відхилення жорсткості у лютому та високі показники мінералізації, сульфатів вказують на необхідність подальших досліджень. Виявлені закономірності, такі як зростання лужності, узгоджуються з природними процесами.

Лужність значно перевищує ГДК у всі розглянуті місяці, що вказує на постійно високий рівень цього показника в воді (рис. 3.16). Спостерігається зростання лужності з грудня до березня, після чого в квітні відбувається різке падіння, а в травні знову підвищується. Це може бути пов'язано з сезонними процесами або зовнішніми впливами, які впливають на хімічний склад води. Лужність в місяцях листопада та грудня тримається на відносно стабільному рівні. Суттєве зростання лужності спостерігається в зимові місяці (січень та лютий), що може бути пов'язано із зниженням температури та меншим перемішуванням води. Незвичайне падіння в квітні може свідчити про зміну водообміну, можливе скидання води, або вплив інших факторів. *P-value* для кореляційної залежності лужності від часу становить приблизно 0,274. Це значення є досить високим, що вказує на відсутність статистично значущої кореляції між лужністю та часом (місяцями). Зміни лужності, ймовірно, не мають лінійної залежності від часу, а, загалом, лужність має хвилеподібну залежність з піковими значеннями на початку весни.

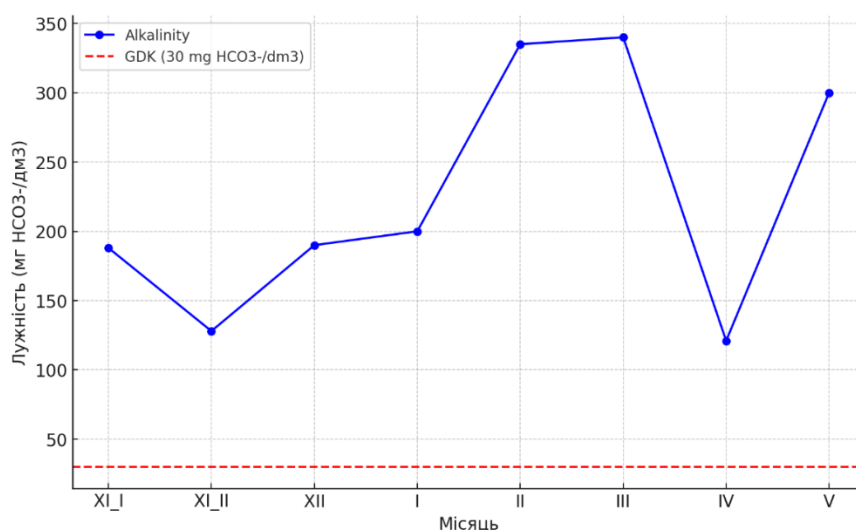


Рис. 3.16. Динаміка лужності води упродовж листопада 2023 – травень 2024 років (мкр. Намив, м. Миколаїв).

Зростання лужності навесні для природних вод може бути обумовлене кількома природними процесами:

- танення снігу та весняні паводки, під час яких у водойму потрапляє велика кількість талої води, яка може бути насичена різними розчиненими речовинами, зокрема бікарбонатами;

- активізація біологічних процесів, наприклад, фотосинтезу у водоростей та інших водних рослин. В процесі фотосинтезу вуглекислий газ з води перетворюється на органічні речовини, знижуючи концентрацію вільного  $\text{CO}_2$  у воді, що призводить до підвищення рівня рН і, відповідно, лужності;

- розкладання органіки, що накопичилися за зиму, починають розкладатися під впливом мікроорганізмів. Це може спричинити виділення бікарбонатів у воду, підвищуючи її лужність;

- зміна хімічного складу води через збільшення поверхневого стоку, який містить мінеральні речовини з ґрунту, може підвищувати загальну мінералізацію та лужність води.

Отже, ці чинники можуть зумовити підвищення лужності саме у весняний період, коли відбувається активний водообмін та зміни у фізико-хімічних характеристиках водойм.

Аналізуючи графік мінералізації води за пунктами спостережень (рис. 3.17), можна виявити такі закономірності: усі значення мінералізації на різних етапах спостережень перевищують ГДК ( $1000 \text{ мг/дм}^3$ ). Це свідчить про стійкі природні процеси. Спостерігається загальна тенденція до зниження рівня мінералізації з листопада до квітня і травня у більшості пунктів. Це може бути пов'язано з сезонними змінами, наприклад, підвищенням водності річок взимку через танення снігу та льоду, що призводить до розведення солей.

Рівень мінералізації варіюється між різними пунктами спостереження, але загальні тенденції залишаються схожими. У пункті 4 рівень мінералізації залишається відносно стабільним. Це може свідчити про стабільний характер впливу природних чинників, які менш схильні до змін у зимовий період. У

квітні спостерігається різке зниження рівня мінералізації, що може бути пов'язано із значним притоком прісної води.

Отже, дані вказують на значне перевищення ГДК у всіх пунктах спостережень, що є серйозною підставою для того, щоб не використовувати ці води в якості джерела технічного і тим паче питного водопостачання. Спостерігається зниження мінералізації взимку та на початку весни. Подальший моніторинг необхідний для детальнішого розуміння природних та антропогенних процесів.

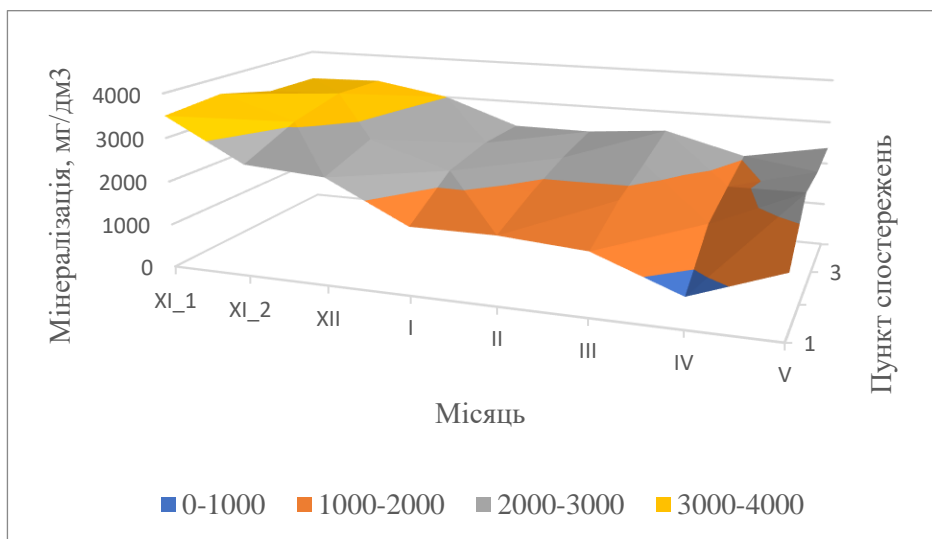


Рис. 3.17. Динаміка мінералізації води по пунктах спостережень.

Середня мінералізація по пунктах спостереження:

Пункт 1 (найdaleший від гирла): 1882.63 мг/дм<sup>3</sup>

Пункт 2: 2432.50 мг/дм<sup>3</sup>

Пункт 3: 2554.38 мг/дм<sup>3</sup>

Пункт 4 (найближчий до гирла): 2658.75 мг/дм<sup>3</sup>

Мінералізація поступово збільшується у напрямку до гирла річки. Це пов'язано з накопиченням солей та інших розчинених речовин у воді ближче до гирла. Найвища мінералізація спостерігається в листопаді, поступово зменшуючись взимку і навесні. Це пов'язано з гідрологічними та погодними умовами, зокрема збільшенням стоку води взимку та весною, що знижує

концентрацію розчинених речовин. Отже, зі зменшенням відстані до гирла спостерігається зростання мінералізації. До того, упродовж року мінералізація зменшується від осені до весни, що обумовлено кліматичними та гідрологічними змінами.

Отже, визначено, що рівень рН стабільний, варіюється від 7,5 до 7,9, що відповідає нормі (6,5–8,5); жорсткість значно підвищує норми; рівень сульфатів варіюється від 140 до 590 мг/дм<sup>3</sup>, що є у межах норми, мають місце поодинокі перевищення; концентрація фосфатів в основному відповідає нормі, але показує коливання; спостерігаються поодинокі перевищення нітратів. Рівень нітритів низький та відповідає нормі; рівень заліза незначно коливається, залишаючись в межах норми. Значення мінералізації і лужності значно перевищують норми, мають тенденцію до зниження в зимові місяці з піковими значеннями восени, а потім різко знижуються у квітні, що пов'язане з природними змінами. Усі інші показники залишались у межах норми.

### **3.5. Визначення BLUE-, GREEN- і NDVI-індексів засобами Google Earth Engine задля оцінювання стану гідроекосистеми Бузького лиману.**

Для проведення досліджень використовували ГІС через Інтернет платформу Google Earth Engine (GEE). GEE – це потужний інструмент для аналізу та візуалізації геопросторових даних. Ця платформа дозволяє працювати з великими обсягами супутникових знімків і кліматичних даних, що робить його особливо корисним для дисертаційного дослідження з екологічного моніторингу та вивчення впливу кліматичних змін на водні ресурси. Google Earth Engine – це платформа для роботи з супутниковими даними та іншими екологічними даними у великому масштабі. Ця платформа дозволяє отримати доступ до великого масиву даних та виконувати аналіз у хмарі. Використовували як просторову, так і атрибутивну інформацію.

Область дослідження (Boundary). Геометрія, що представляє Бузький лиман, визначена за допомогою полігонів або інших геометричних фігур, які

окреслюють його межі. Для цього використовуємо координати для створення полігону. Використовуємо супутникові знімки для моніторингу змін поверхневих вод, а саме колекції знімків Sentinel-2 для візуалізації водного покриття та визначення характеристик якості води (наприклад, хлорофіл, мутність); Landsat (наприклад, Landsat 8) для аналізу змін на більшій часовій шкалі. Зазначимо період дослідження для аналізу динаміки змін (останні 40 років/1984–2024 рр.). Це допоможе визначити вплив кліматичних дій у довгостроковій перспективі.

Для визначення якості води через показники BLUE і GREEN необхідні дані про основні параметри, такі як: рівень хлорофілу (індикатор евтрофікації); мутність води; вміст розчиненого кисню.

У GEE синій канал позначається як 'B2' у даних супутників, таких як Landsat 8, і як 'B1' у даних Sentinel-2. Це дозволяє легко вибрати його для обробки та аналізу даних (рис. 3.18).

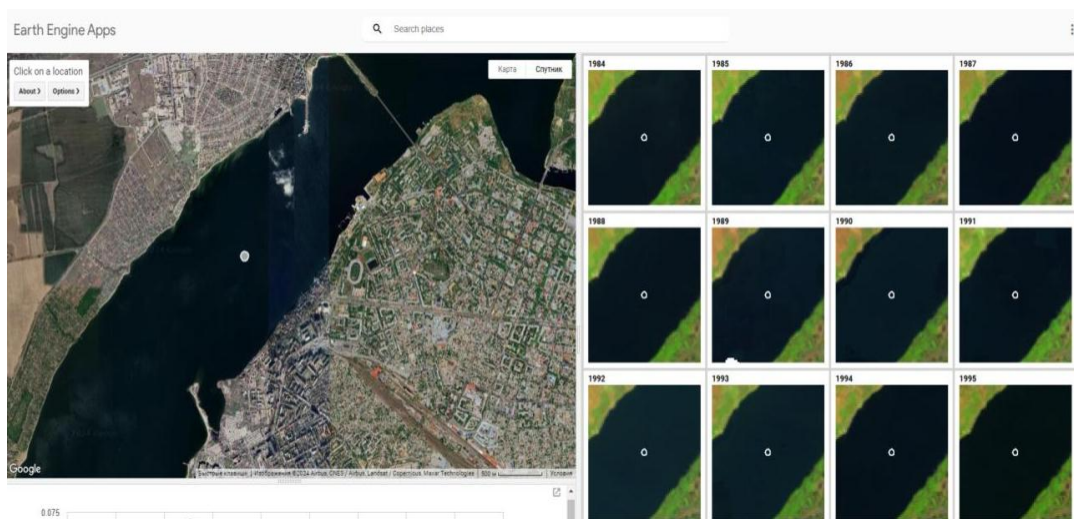


Рис. 3.18. Супутникові знімки об'єкту спостережень за період 1984–2024 років [112].

Окрім синього каналу, як додатковий інструмент, також використаємо GREEN індекс в GEE, який означає зелений спектральний канал супутникових знімків, який відображає відбиття зеленого світла (довжина хвилі приблизно

500–570 нм). Канал GREEN позначається як 'B3' у даних Landsat 8 або 'B3' у Sentinel-2. Зелені значення добре відображають здоровий стан рослинності та можуть бути використані у нашому дослідженні екологічному моніторингу поверхневих вод.

Для моніторингу якості поверхневих вод обирали індекс BLUE, який у контексті Google Earth Engine (GEE) відноситься до синього спектрального каналу у супутникових знімках. Цей індекс представляє дані, отримані в діапазоні довжин хвиль синього світла (приблизно 450–500 нм) і використовується для різних типів аналізу поверхні Землі, оскільки синій спектр добре показує водні об'єкти, якість води та інші характеристики поверхні.

BLUE індекс часто використовується для оцінки якості води, наприклад, для виявлення мутності або прозорості води. Вода з високим вмістом домішок чи зростанням водоростей відображається на синьому каналі інакше, ніж чиста вода. BLUE індекс ефективно відокремлює воду від суші на супутникових знімках. Вода зазвичай виглядає темнішою, що полегшує виділення водойм на карті. BLUE індекс чутливий до атмосферних частинок, тому його також можна використовувати для виявлення туману або диму та для виконання корекцій, щоб підвищити точність інших каналів.

Отримано BLUE індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205), який подано на графіку рис. 3.18.

Дані графіку рис. 3.19 індексу BLUE (синього каналу) вказують на такі закономірності:

1. Високі значення можуть вказувати на наявність чистої води або атмосферних явищ, таких як туман або дим. Низькі значення можуть вказувати на наявність забруднення води, водоростей, мулу або високий рівень домішок у воді, що знижує прозорість та відбивання синього світла.

2. Спостерігається загальне зниження індексу BLUE з часом, це може свідчити про поступове погіршення якості води, накопичення забруднень або зростання водоростей.

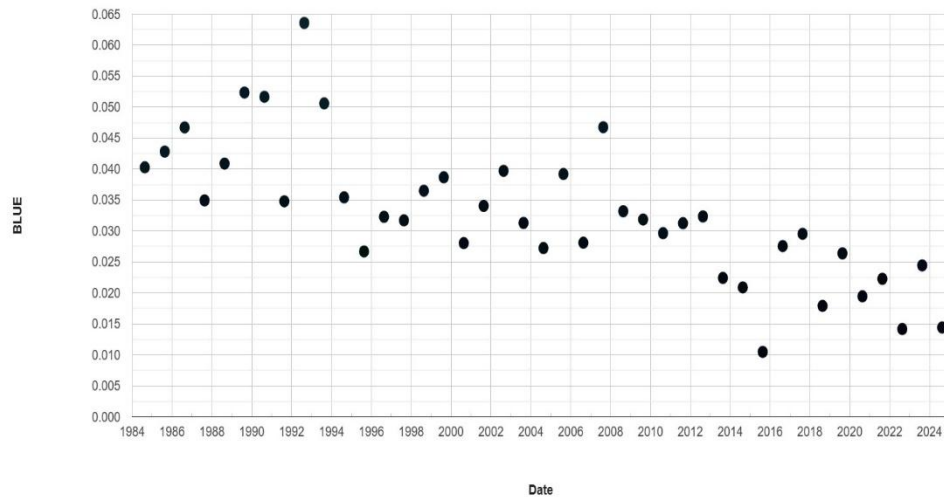


Рис. 3.19. BLUE індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

Отримано GREEN індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205), який подано на графіку рис. 4. Високі значення GREEN (1992 рік, 0,077) вказують на активну та здорову рослинність. Низькі значення GREEN (2015 рік, 0,026) свідчать про поганий стан рослинності або про наявність неживих об'єктів, таких як забруднені території. Загальний тренд (рис. 3.20) вказує на поступове зниження означеного показника.

Поступове зниження GREEN індексу для водного об'єкту вказує на екологічні зміни у гідроекосистемі. Зниження індексу вказує на погіршення прозорості води через підвищення мутності, що може бути наслідком забруднення або підвищеної ерозії, яка спричиняє збільшення завислих частинок у воді. Якщо в лиман надходять стічні води або добрива, це може

призвести до надмірного зростання водоростей у короткостроковій перспективі (евтрофікація). У довгостроковій перспективі, може виникати дефіцит кисню та погіршення умов для життя, що спричиняє зниження біологічної активності й, як наслідок, зменшення індексу.

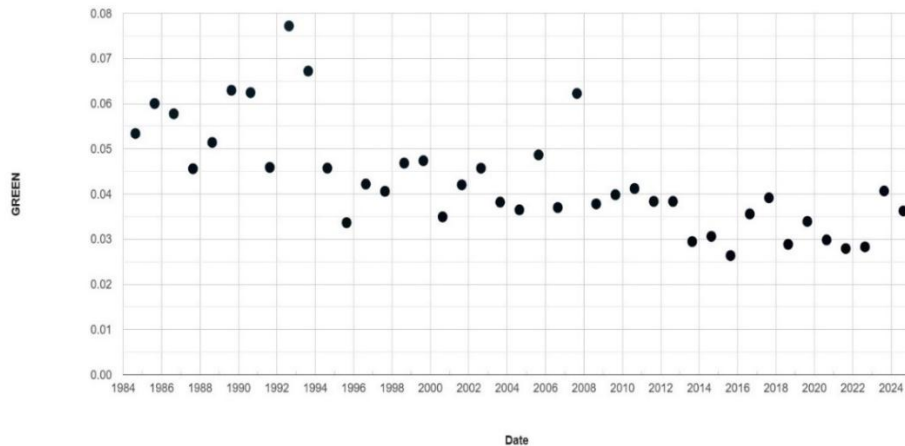


Рис. 3.20. GREEN індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

Додатковим інтегрованим критерієм для оцінювання екологічного стану гідроекосистеми є індекс NDVI (вегетаційний індекс), який дозволяє кількісно оцінити рослинність (рис. 3.21). Хоча NDVI зазвичай застосовується для аналізу рослинності, його також можна використовувати для оцінки екологічного стану поверхневих вод, оскільки значення цього індексу може свідчити про наявність і стан водної рослинності (макрофітів, фітопланктону) поблизу водойм. Так, за допомогою NDVI можна оцінити стан рослинності у прибережних зонах, яка виконує важливу роль у захисті водойм від ерозії, фільтрації забруднень і підтриманні сталості середовища. Аналіз NDVI дозволяє відстежувати сезонні зміни в рослинному покриві водойм і прилеглих територій, що дає змогу виявляти довгострокові зміни екосистеми внаслідок кліматичних або антропогенних чинників.

Отже, індекс NDVI допомагає не лише оцінити стан водної та прибережної рослинності, але й виявити ознаки екологічних проблем, таких як евтрофікація, ерозія берегів, або зміни рослинного покриву через антропогенний тиск.

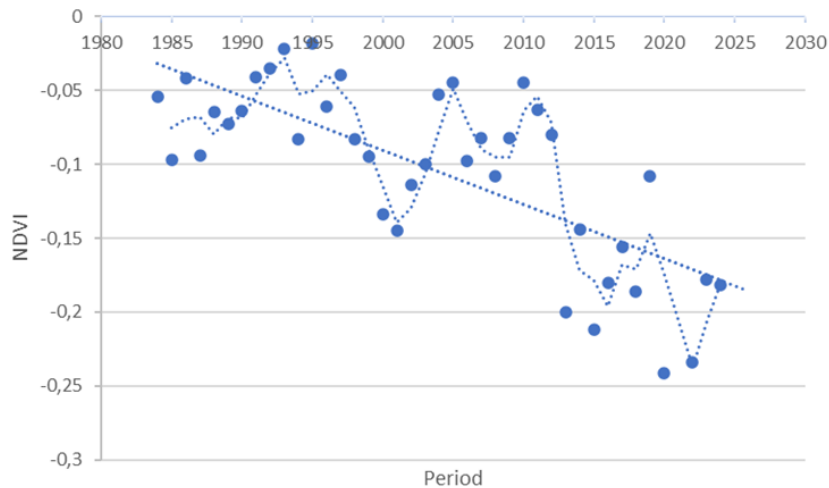


Рис. 3.21. NDVI індекс за період з 1984 по 2024 роки Бузького лиману у точці спостережень (46.975073, 31.949205).

На основі тренду рис. 3.20 можна зробити кілька висновків. Загальний спадний тренд показує поступове зниження значень NDVI, що може вказувати на деградацію рослинного покриву, на зменшення водної рослинності та збільшення забруднення, що є ознакою погіршення екологічного стану водойми. Незважаючи на загальний спад, є значні коливання NDVI у різні періоди. Це може бути пов'язано з сезонними або кліматичними змінами, що впливають на рослинність і екосистему загалом. З початку 2000-х років спостерігається більш стабільне та суттєве зниження NDVI, що свідчить про посилення антропогенного впливу та вплив кліматичних умов, що спричиняють тривале погіршення стану рослинності.

Поступове збільшення температури води може впливати на розмноження водоростей, зменшуючи кількість видів, які відбивають зелене

світло. Температура також впливає на розчинність кисню, що може спричинити зміни у популяціях водоростей та фітопланктону.

Збільшення солоності води, як наслідок зменшення притоку прісної води або випаровування, також може впливати на види водоростей і фітопланктону, які здатні виживати в таких умовах, що призводить до зниження індексу.

Отже, загальне зниження значень індексу BLUE з 1984 до 2024 рр. вказує на поступове погіршення якості води за рахунок збільшення забруднення і ерозійних процесів. Означені зміни можуть бути результатом антропогенного впливу, зокрема промислових викидів, урбанізації, забудови прибережної зони, а також наслідком змін клімату.

Зниження GREEN індексу для водного об'єкту сигналізує про можливі екологічні зміни, які можуть негативно впливати на біорізноманіття, якість поверхневих вод та сталість гідроекосистеми.

Падіння NDVI вказує на збільшення забруднення, зокрема, евтрофікацію та зростання кількості органічних речовин у воді.

Отже, поступове стале зниження NDVI-, BLUE- I GREEN індексів свідчить про скорочення біорізноманіття водної екосистеми. До того, у глобальному звіті Всесвітнього фонду природи WWF за 2024 рік зазначено, що найбільше скорочення популяцій спостерігається в прісноводних екосистемах (85%), за ними йдуть суходільні (69%), а потім морські (56%) [WWF; Living Planet]. Зменшення чисельності популяцій може вказувати на послаблення екосистем та їх вразливість, що матиме глобальні наслідки.

### **Висновки до третього розділу**

Природні умови басейну Південного Бугу є складними та різноманітними. Басейн повністю розташований в Україні, охоплюючи зони Лісостепу, Степу і частково Полісся, що зумовлює різнохарактерні кліматичні, геоморфологічні та гідрологічні умови.

Температурні дані води у межах міста Миколаєва свідчать про тенденцію до зростання мінімальних температур, а лінія тренду свідчить про кліматичне потепління. Аномально високе значення у  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  у 2021 році може свідчити про екстремальні погодні умови або локальні впливи.

Визначено, що басейн сильно зарегульований, налічує понад 8000 ставків і водосховищ. Приблизна середня щільність водойм становить близько одного водосховища на кожні 10 км, що знову доводить факт про високу зарегульованість річки, що призводить до втрати весняного повеневого стоку, уповільнення течії, зниження швидкості самоочищення річки та порушення умов життєдіяльності водної флори та фауни.

Дослідження стану поверхневих вод в акваторії міста Миколаєва засвідчили, що гідроекосистема характеризується високою жорсткістю (до  $20\text{ мг-екв/дм}^3$ ) та лужністю. Мінералізація води зростає в напрямку до гирла річки. Найвищі показники фіксуються у листопаді, після чого спостерігається поступове зниження взимку та навесні, що пов'язано зі збільшенням водного стоку в холодний період.

Аналіз супутникових індексів за 2020–2024 роки показав, що BLUE-індекс знизився з 0,113 (2020) до 0,084 (2024), що свідчить про зменшення прозорості води; GREEN-індекс коливався у межах 0,097–0,119, що відповідає підвищенню продуктивності водоростей; NDVI-індекс зріс із 0,132 до 0,165, що свідчить про активізацію прибережної рослинності та можливе заростання берегової зони.

## РОЗДІЛ 4

### ДИНАМІКА ТА ТЕМПЕРАТУРНІ МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНИХ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРОЕКОСИСТЕМИ ПІВДЕННОГО БУГУ В МЕЖАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

#### 4.1. Вибір інтегрованих гідрохімічних показників та пунктів спостережень.

Для дослідження впливу кліматичних чинників на стан поверхневих постало завдання щодо вибору основних інтегрованих гідрохімічних показників якості поверхневих вод.

Вибір показників мав відповідати таким критеріям:

- Чутливість до кліматичних змін. Показники мають бути чутливими до змін температури, кількості опадів, частоти паводків, періодів посухи та інших проявів кліматичних змін.
- Здатність демонструвати сезонні та річні коливання. Показники варіюються залежно від сезонів та умов клімату, що дозволяє відстежувати довготривалі зміни.
- Відображення змін у гідрологічному циклі. Кліматичні зміни змінюють гідрологічний цикл, впливаючи на баланс випаровування і стоку, що, своєю чергою, впливає на концентрацію розчинених речовин.
- Забезпечення повної оцінки екологічного стану.
- Практичне значення для управління водними ресурсами. Ці показники є важливими для практичного використання водних ресурсів.

Означені критерії обумовили вибір основних гідрохімічних показників, які дають комплексне розуміння того, як зміни в кліматі впливають на хімічний та екологічний стан поверхневих вод, і дозволяють оцінити довготривалі ризики для екосистем і водопостачання.

Такими показниками є:

1. Температура води, оскільки кліматичні зміни, зокрема підвищення середньорічної температури, спричиняють нагрівання водних мас. Це впливає на насиченість води киснем та активізує біологічні процеси, що, у свою чергу, сприяє розвитку водоростей і може призводити до цвітіння води.

2. Розчинений кисень, оскільки збільшення температури знижує розчинність кисню у воді, що ускладнює існування риби та інших водних організмів, зокрема тих, що чутливі до низького вмісту кисню. Цей показник також зазнає впливу від змін у гідрологічному режимі, що пов'язано зі змінами у циклах опадів і випаровування.

3. Біохімічне споживання кисню (БСК), оскільки цей показник визначає кількість кисню, необхідного для біохімічного розкладання органічних речовин. З підвищенням температури БСК може збільшуватися, оскільки тепліші води сприяють швидшому розкладанню органічних решток.

4. Мінералізація (сумарна кількість розчинених речовин), оскільки під впливом випаровування та зменшення стоку, концентрація розчинних солей і мінералів у воді може зростати, що змінює її мінералізацію та, відповідно, придатність для різних цілей, зокрема для питного водопостачання.

5. Водневий показник (рН), який може змінюватися під впливом кліматичних чинників, таких як зменшення стоку, окиснення органічних речовин та зміни у вуглекислотному балансі. Високий вміст CO<sub>2</sub> через прискорений розклад органіки знижує рН, роблячи воду кислішою, що також впливає на життєдіяльність водних організмів.

Загальне залізо і твердість води також належать до гідрохімічних показників, на які кліматичні зміни можуть мати відчутний вплив:

6. Загальне залізо, оскільки концентрація загального заліза у воді може підвищуватися внаслідок збільшення кількості опадів, паводків або інтенсивного поверхневого стоку. Вода з підвищеним вмістом заліза часто має характерний рудуватий колір і може осаджуватися у вигляді рудних відкладів.

Такі умови також сприяють розвитку бактерій, які окиснюють залізо, що додатково підвищує його концентрацію. Зміни клімату, зокрема нагрівання води та сезонні коливання, можуть впливати на розчинність заліза. Це ускладнює водопідготовку, оскільки вода з високим вмістом заліза має специфічний смак, запах і може спричиняти корозію водопровідних мереж.

7. Твердість води, яка визначається концентрацією кальцію і магнію у воді. Підвищене випаровування внаслідок підвищення температури призводить до збільшення концентрації цих солей, що підвищує твердість води. Також зменшення стоку за умов посух та низької водності сприяє зростанню твердості, адже концентрація розчинених мінералів зростає через їхнє накопичення. Висока твердість води має негативний вплив на водну техніку і водонагрівальні прилади через утворення накипу, що знижує їх ефективність та скорочує термін служби.

Сульфати і нітрати також значною мірою піддаються впливу кліматичних змін, і їхні концентрації можуть коливатися з різних причин.

8. Сульфати, оскільки підвищення концентрації сульфатів може бути пов'язане з інтенсифікацією ерозії ґрунтів та змиву з сільськогосподарських, промислових районів під час сильних дощів та паводків, які стають частішими через зміну клімату. Окрім того, зростання випаровування у водоймах, зокрема під час посух, сприяє збільшенню концентрації сульфатів через накопичення розчинених солей у воді. Підвищений рівень сульфатів може погіршувати смак води та негативно впливати на здоров'я людини, спричиняючи розлади травлення при високих концентраціях.

9. Нітрати, оскільки вони можуть легко потрапляти у поверхневі води, особливо під час паводків і значних опадів. Зміни в режимі опадів, характерні для кліматичних змін, призводять до коливань у концентраціях нітратів, зокрема до їхніх пікових значень після інтенсивних дощів.

Кліматичні зміни можуть загострити проблему підвищеного рівня сульфатів і нітратів у водних об'єктах, що потребує адаптації у системах моніторингу та очищення води.

Отже, для подальшого дослідження стану поверхневих вод було обрано вісім гідрохімічних показників, чотири з яких (рН, БСК, мінералізація, твердість) належать до інтегрованих.

Термін «інтегровані гідрохімічні показники» означає параметри, на вміст яких впливає сукупність окремих характеристик води. Це параметри, які комплексно можуть характеризувати якість води та її придатність для різних цілей. Інтегровані показники відображають взаємодію кількох чинників одночасно, охоплюючи комплексний вплив природних та антропогенних процесів на водне середовище. Основними означеннями інтегрованих гідрохімічних показників є:

- Комплексність оцінки стану води. Інтегровані показники, такі як БСК, мінералізація, загальна твердість, кислотність (рН) тощо, дають змогу оцінити загальний стан водного об'єкта, враховуючи взаємодію різних речовин і елементів у водному середовищі.
- Відображення взаємозв'язків між параметрами. Наприклад, розчинений кисень, БСК та вміст органічних речовин пов'язані між собою, відображаючи активність мікроорганізмів та рівень забруднення води органічними речовинами. Такі показники показують не тільки наявність певних речовин, але й процеси, що відбуваються у воді (наприклад, розкладання органіки, евтрофікація).
- Зручність для довготривалого моніторингу та управління. Інтегровані показники дозволяють легко відстежувати зміни якості води в часі, оцінюючи вплив природних і антропогенних чинників. Це полегшує прийняття управлінських рішень для збереження екосистем і забезпечення потреб у чистій воді.

- Можливість індикації екологічного стану. Інтегровані показники служать індикаторами екологічного стану водного об'єкта. Наприклад, підвищення концентрації нітратів може вказувати на евтрофікацію, а низький рівень розчиненого кисню може сигналізувати про надмірне органічне забруднення.

Отже, інтегровані гідрохімічні показники – це комплексні індикатори, що допомагають досліджувати загальний стан водного середовища, його відповідність екологічним нормам, а також оцінювати вплив зовнішніх чинників, таких як кліматичні зміни та антропогенне навантаження.

Наступним кроком дослідження було вибір і обґрунтування пунктів спостережень, які подано на карті рис. 4.1.

Пункти спостережень:

1. с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська; 47.521062, 31.415568);
2. с. Ковалівка (47.250418, 31.736822);
3. Бузький лиман (м. Миколаїв, район ТЕЦ; 46.942608, 31.988113).

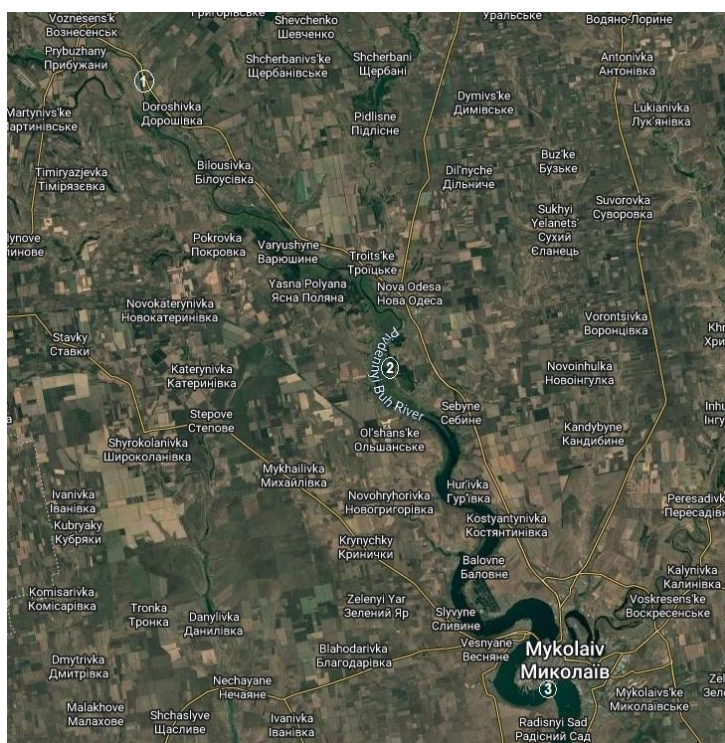


Рис. 4.1. Пункти спостережень за якістю поверхневих вод Південного Бугу у межах Миколаєва та Миколаївської області.

Вибір пунктів спостережень у межах міста Миколаєва і Миколаївської області обмовлений такими критеріями:

- Репрезентативність. Пункти відображають типові умови якості води в річковій системі на обраній території. Точки відбору обираються, щоб відстежувати як антропогенні, так і природні фактори, що впливають на водні екосистеми.
- Просторове охоплення. Пункти відносно покривають територію водного об'єкта, що досліджується. Їх розміщено у верхів'ї течії щодо міста Миколаєва, на території міста.
- Антропогенний вплив. Пункти обрано у районах із високим впливом антропогенної діяльності, тобто, поблизу міст Вознесенськ та Миколаїв, що дозволяє оцінювати прямий вплив діяльності людини на якість води.
- Гідродинамічні умови. Враховується течія води, тобто пункти обрано у місцях, де характеристики потоку дозволяють отримати найбільш стабільні та достовірні дані.
- Біологічна різноманітність. Пункти обрано у місцях із типовою різноманітністю видів.
- Доступність та безпека. Місця спостережень є доступними для дослідників, а умови – безпечними для проведення відборів.
- Історичні дані та попередні дослідження. Використано наявні дані про якість води в конкретному місці, що дозволяє забезпечити послідовність у спостереженнях (Додаток Е).

Отже, ці критерії дозволили вибрати оптимальні точки для моніторингу, щоб отримати повну та достовірну інформацію про якість поверхневих вод у межах досліджуваної території міста Миколаєва та Миколаївської області.

До того, обрані пункти спостережень дозволили відстежити низку фізико-хімічних параметрів, інтегрованих показників, які було описано вище. Пункти забезпечили можливість регулярного відбору проб з однаковими

умовами доступу, що дозволило дотримуватись стандартів якості для лабораторного аналізу. Кожну точку було координовано та геоприв'язано, щоб полегшити довгострокове моніторингове спостереження, порівняння даних та здійснювати прогностичні обчислення.

#### **4.2. Дослідження зміни показників розчинного кисню і БСК<sub>5</sub>.**

Визначено, що показники розчинного кисню і БСК<sub>5</sub> значною мірою залежать від таких кліматичних чинників, як температура повітря і води; активність сонячної радіації; кількість опадів; вітрові умови; тривалість дня і ночі, а також сезонні зміни.

Чим вища температура, тим менше кисню розчиняється у воді. У теплі періоди рівень розчинного кисню часто знижується, що може призвести до стресу для водних організмів. Водночас висока температура стимулює біологічну активність, що збільшує БСК<sub>5</sub>, адже бактерії активніше розкладають органічні речовини, поглинаючи кисень.

Сонячне випромінювання стимулює фотосинтез у водоростях та інших фотосинтезуючих організмах, що сприяє збагаченню води киснем у світлий час доби. Проте вночі цей процес припиняється, і кисень споживається для дихання водних організмів, що може знижувати його рівень.

Кількість опадів та стік можуть впливати на вміст розчинного кисню, оскільки паводки та дощі часто приносять із собою значну кількість органічних речовин із ґрунту. Це збільшує БСК<sub>5</sub>, оскільки органічні речовини розкладаються і споживають кисень. Окрім того, під час паводків відбувається перемішування води, що може сприяти короточасному підвищенню рівня кисню.

Вітер сприяє перемішуванню води і її насиченню киснем, особливо у великих водних об'єктах. Вітрове перемішування сприяє притоку кисню з атмосфери до глибинних шарів, покращуючи аерацію.

У різні сезони температурні і світлові умови змінюються, впливаючи на динаміку розчиненого кисню та БСК<sub>5</sub>. Наприклад, навесні і влітку через активний розвиток водоростей відбувається підвищене виділення кисню вдень, але в теплі періоди також посилюється розклад органічних речовин.

Тривалість дня і ночі впливає на баланс між фотосинтезом і диханням організмів. У довгі літні дні зростає фотосинтетична активність, збільшуючи рівень кисню, а в короткі зимові дні цей процес знижується.

Поєднання дослідження розчинного кисню і біологічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) у водних екосистемах доцільне через їхню тісну взаємодію, що дозволяє комплексно оцінити екологічний стан водного середовища. Рівень розчинного кисню є критично важливим для всіх аеробних організмів у воді. Водночас БСК<sub>5</sub> вказує на кількість органічних речовин, що потребують розкладання за участю кисню. Високий рівень БСК<sub>5</sub> означає значне споживання кисню бактеріями для розкладання органіки, що знижує його концентрацію у воді. Отже, вважаємо, що ці показники мають зворотну залежність: високий БСК<sub>5</sub> може призводити до низького рівня розчинного кисню, і навпаки.

Дослідження розподілу означених показників дозволяє виявити рівень антропогенного впливу та ступінь забруднення органічними рештками. Зниження кисню і підвищення БСК<sub>5</sub> часто вказують на евтрофікацію або потрапляння скидів у водойму. Обидва показники чутливі до кліматичних і сезонних змін (наприклад, температура повітря). Дослідження їх розподілу в часі допомагає зрозуміти вплив кліматичних чинників на біогеохімічні процеси у воді. Наприклад, у теплі періоди можна очікувати зниження кисню та зростання БСК через підвищену біологічну активність.

Співвідношення між розчиненим киснем і БСК<sub>5</sub> є індикатором стану водної екосистеми. Низький рівень кисню при високому БСК<sub>5</sub> може свідчити про кисневий дефіцит і небезпеку для гідробіонтів. Регулярний моніторинг

розподілу цих показників дозволяє оцінювати, чи здатна водойма підтримувати здорове біорізноманіття.

БСК<sub>5</sub> пов'язаний з процесами розкладання органічних речовин, що є частиною природного самоочищення водойм. Дослідження вмісту кисню і БСК<sub>5</sub> дає уявлення про здатність водної системи до самоочищення, виявляючи рівновагу між надходженням забруднень та їхньою обробкою екосистемою.

Отже, поєднання вивчення цих показників у дослідженнях дозволяє побудувати цілісну картину екологічного стану водних ресурсів, оцінити їх стійкість до забруднень і вплив зовнішніх чинників на функціонування екосистеми. Так, на основі вищезазначених аспектів перед нами поставили завдання:

1. Дослідити часову динамку зміни показників розчинного кисню і БСК<sub>5</sub>;
2. Дослідити просторову динамку зміни показників розчинного кисню і БСК<sub>5</sub>;
3. Визначити і обґрунтувати просторово-часові закономірності динаміки показників розчинного кисню і БСК<sub>5</sub>.

Графік рис. 4.2. демонструє зміну вмісту розчинного кисню упродовж 40 років (з прогнозуванням на майбутнє). Спостерігається поступове зниження рівня розчинного кисню. Трендова лінія має негативний нахил, що вказує на загальне зниження показників з роками. Рівняння тренду вказує на спад з коефіцієнтом нахилу  $-0,0967$ . Це означає, що щорічно вміст розчинного кисню зменшується приблизно на  $0,097$  одиниць. Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,3809$  свідчить про те, що близько 38% змін у вмісті розчинного кисню можна пояснити цим лінійним трендом. Це означає, що дані мають значний рівень варіабельності, і на концентрацію розчинного кисню могли впливати й інші чинники, а саме зміна клімату, забруднення води та зміни у водному режимі.

Помітно, що на початку періоду (з 1980-х до 2000-х) значення розчинного кисню були досить нестабільними, з помітними піками та спадами.

Після цього періоду спостерігається відносна стабілізація з тенденцією до зниження. Отже, графік вказує на поступове зниження рівня розчинного кисню з часом, що може свідчити про деградацію якості води або зменшення здатності водних систем підтримувати достатній рівень кисню.

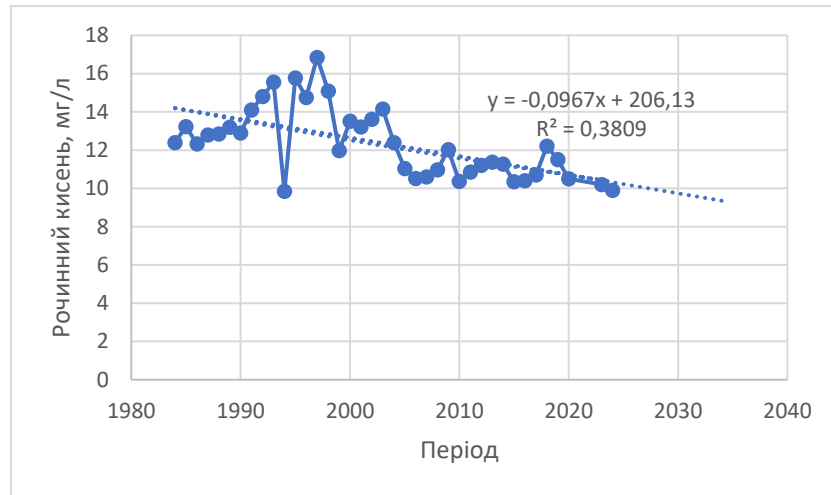


Рис. 4.2. Динаміка розчинного кисню у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

На графіку рис. 4.3 відображено три моделі, що описують залежність між середньою річною температурою води та вмістом розчинного кисню.

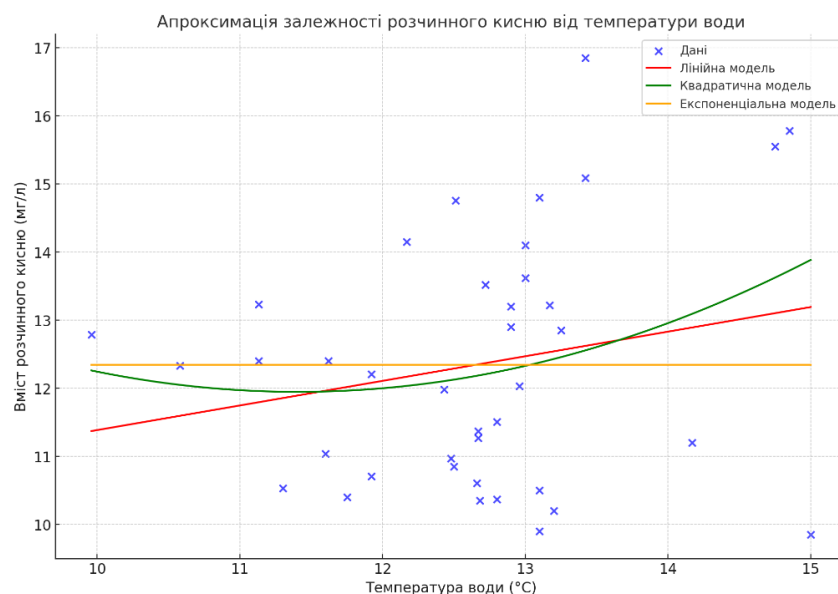


Рис. 4.3. Моделі залежності вмісту розчинного кисню від температури води.

Лінійна модель (червона лінія), яка описується рівнянням  $y=0,36x+7,77$ , є найпростішою, але вона менш точно описує дані. Квадратична модель (зелена лінія)  $y=0,15x^2-3,42x+31,46$  краще відбиває нелінійність у даних, що видно з її форми. Крива показує нелінійну залежність, вміст кисню спочатку зменшується із підвищенням температури, а потім починає збільшуватись. Очевидно, що на розчинність кисню могли впливати й інші чинники, які не можуть бути враховані в даній моделі. Експоненціальна модель (помаранчева лінія)  $y=8,63 \times 105 \cdot e^{-8.69 \times 10^{-4}x} + 12,34$  демонструє меншу відповідність, ймовірно через особливості поведінки змінних.

На графіку рис. 4.4 зображена динаміка змін концентрації розчиненого кисню у пункті спостережень с. Ковалівка (47.250418, 31.736822). Трендова лінія показує загальне зниження концентрації розчиненого кисню з часом. Це підтверджується рівнянням регресії:  $y=-0,1397x+288,96$ . Коефіцієнт  $-0,1397$  вказує на поступове зменшення значення розчиненого кисню. Проте, коефіцієнт детермінації  $R^2 \sim 0,3$  свідчить про слабкий зв'язок між часом і концентрацією кисню, що означає, що зниження концентрації може залежати також від інших чинників, не врахованих у цьому графіку. Зменшення концентрації кисню може бути наслідком погіршення якості води (наприклад, через забруднення, евтрофікацію чи підвищення температури води). Періодичні сплески концентрації кисню, ймовірно, пов'язані з сезонними чи локальними чинниками (опади, водообмін тощо).

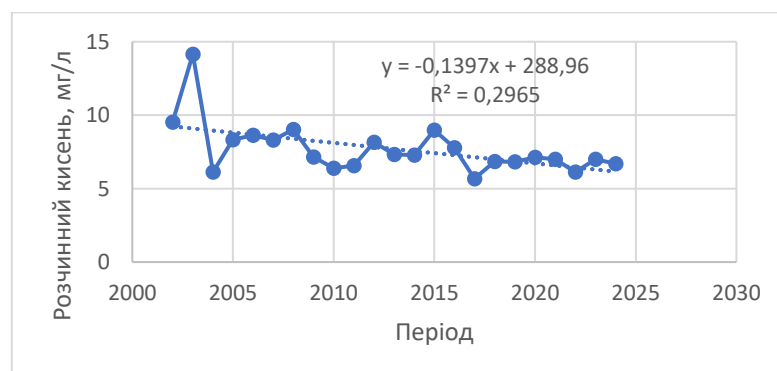


Рис. 4.4. Динаміка вмісту розчинного кисню у воді у пункті спостережень с. Ковалівка.

Згідно з графіком рис. 4.5 у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ; 46.942608, 31.988113), також спостерігається чітка тенденцію до зменшення концентрації розчиненого кисню у воді упродовж аналізованого періоду. Це є тривожним сигналом, оскільки кисень є життєво важливим для більшості водних організмів. Лінія тренду підтверджує загальну тенденцію до зниження. Її негативний нахил вказує на те, що з часом концентрація кисню зменшується. Незважаючи на загальну тенденцію, спостерігаються значні коливання концентрації розчинного кисню від року до року. Це може бути пов'язано з різноманітними чинниками, такими як сезонні зміни, короткочасні забруднення або інші локальні події.

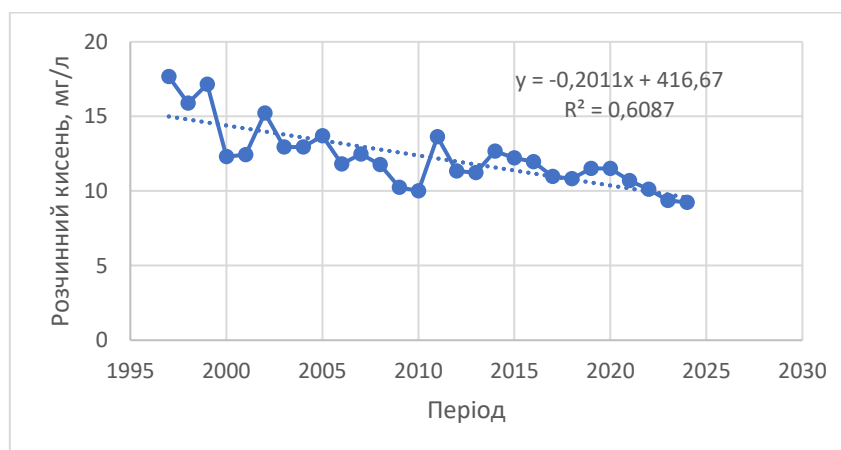


Рис. 4.5. Динаміка розчинного кисню у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,6087$ , що означає, що приблизно 60,87% варіації концентрації розчинного кисню можна пояснити лінійною залежністю від часу. Іншими словами, модель, представлена лінією тренду, досить добре описує загальну тенденцію зниження концентрації кисню, але є й інші чинники, які впливають на цей процес і не враховані в моделі. Ймовірними причинами зниження концентрації кисню є: забруднення вод через скидання стічних вод, промислових відходів та сільськогосподарських добрив; евтрофікацію; змін клімату через підвищення температури води може знизити

її здатність розчиняти кисень, що також може сприяти зменшенню його концентрації.

На графіку рис. 4.6 видно, як змінювались середні річні температура води та вміст розчинного кисню у воді з 1997 по 2024 роки у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

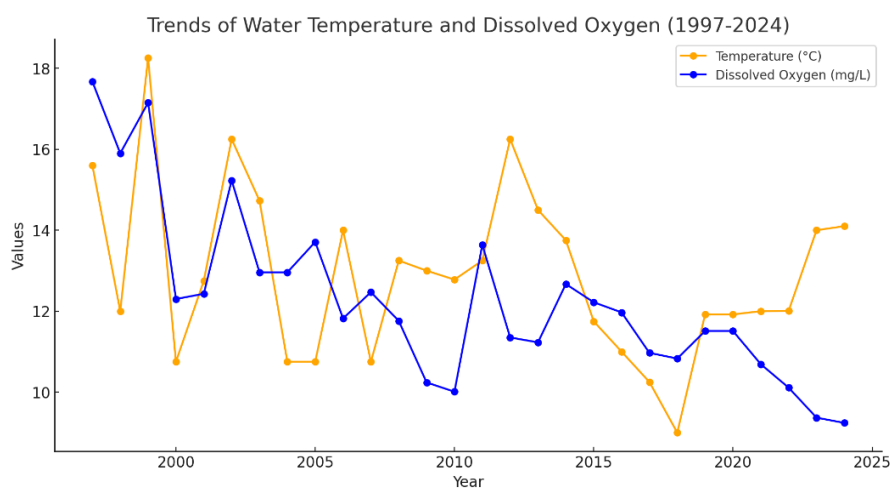


Рис. 4.6. Динаміка температура води та вмісту розчинного кисню у воді у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Температура води має тенденцію до коливань, з підйомами і спадами, проте помітний поступовий зріст у останні роки (2020–2024 рр.). Значення розчинного кисню мають зворотну залежність від температури – вищі значення на початку періоду, але вони поступово знижуються, особливо після 2010 року.

Графік рис. 4.7 демонструють зміну концентрації кисню для обраних пунктів спостережень. У 2003 році концентрації кисню є найвищими (до 15,23 мг/л), а у 2024 році – одними з найнижчих (мінімум 6,12 мг/л). Найвищі показники розчинного кисню спостерігаються у 2002–2004 роках, поступове відбувається зниження до стабілізації на рівні близько 10 мг/л. Динаміка може свідчити про кращий стан води у верхів'ях. У точці спостережень 1 (найdaleшій від гирла) якість води залишається кращою завдяки меншому

забрудненню та активнішому кисневому обміну. У точці 3 (найближчій до гирла) зниження кисню викликане накопиченням забруднень та недостатньою швидкістю самоочищення. Якщо поточні тенденції зберуться, то у точці 3 може спостерігатися критичне зниження кисню до рівня, небезпечного для екосистеми (нижче 5 мг/л). Точка спостережень 1 є найменш чутливою до змін, але також може демонструвати поступове зниження.

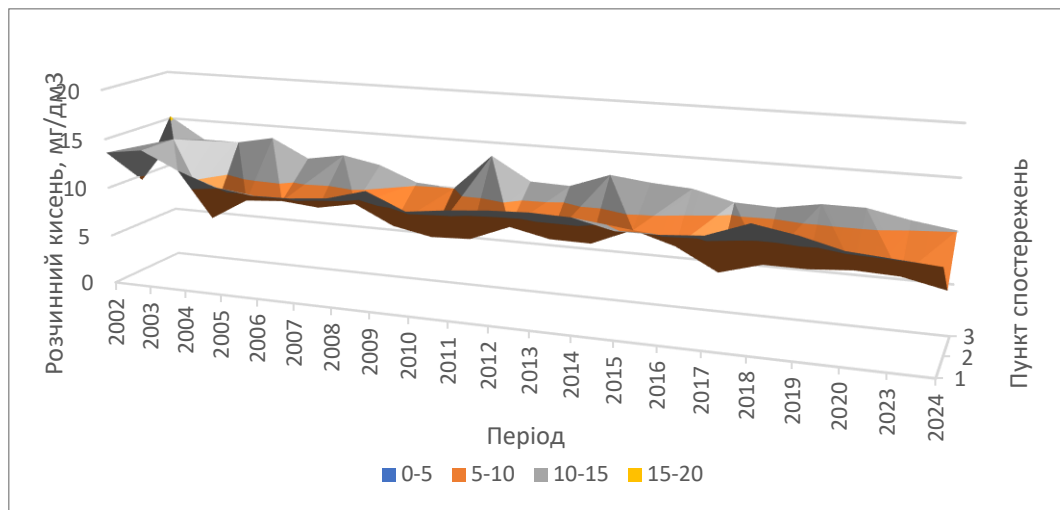


Рис. 4.7. Динаміка зміни вмісту розчинного кисню у пунктах спостережень 1, 2, 3.

Графік залежності БСК<sub>5</sub> від часу подано на рис. 4.8. Спостерігається зниження БСК<sub>5</sub> у період із 1980-х до 2020-х років. Це підтверджується трендом, заданим рівнянням лінійної регресії. Коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,4242$ ) вказує на слабшу залежність між часом і зниженням БСК<sub>5</sub>. Лінійна регресія пояснює лише 42,4% змін у даних, а решту можуть пояснювати інші чинники. Початкове зниження БСК<sub>5</sub> може бути пов'язане з покращенням екологічної ситуації, зменшенням органічного забруднення. Проте, підвищення після 2020 року можуть сигналізувати про зворотній тренд, наприклад, через вплив антропогенних чинників чи зміни у природних процесах.

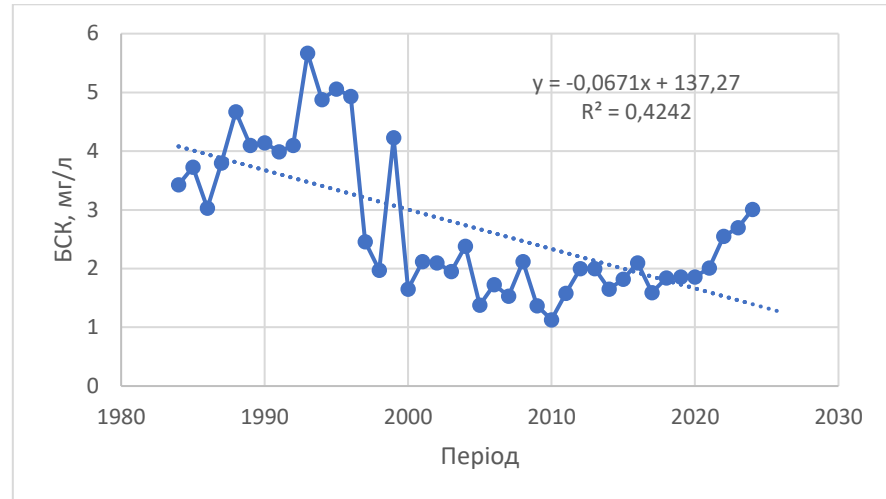


Рис. 4.8. Динаміка БСК<sub>5</sub> у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

На графіку рис. 4.9 відображено моделі, що описують залежність між середньою річною температурою води та БСК<sub>5</sub>.

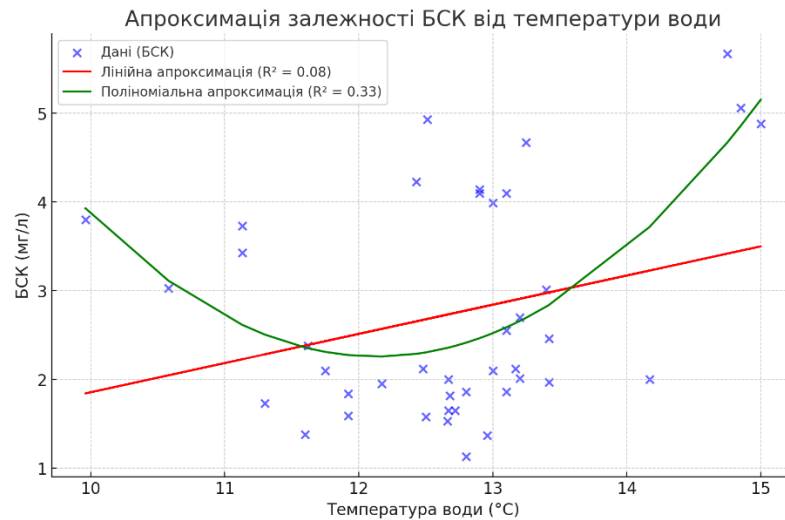


Рис. 4.9. Моделі залежності БСК<sub>5</sub> від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Результати апроксимації залежності БСК<sub>5</sub> від температури води (рис. 4.9) демонструють лінійну модель через рівняння:  $БСК = 0,329 \cdot T - 1,433$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,08$ , і поліноміальну модель (2-го ступеня) через рівняння:  $БСК = 0,353 \cdot T^2 - 8,565 \cdot T + 54,233$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2 =$

0,33. Поліноміальна модель другого ступеня значно краще описує залежність між температурою води і БСК (вищий коефіцієнт  $R^2$ ), пояснює лише 33% варіації, що вказує на нелінійну природу цієї залежності.

Динаміку БСК у пункті спостережень у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.10. Загалом, спостерігаються незначні коливання значень у межах ГДК із невеликим нахилом лінії тренд у до поступового незначного зростання.

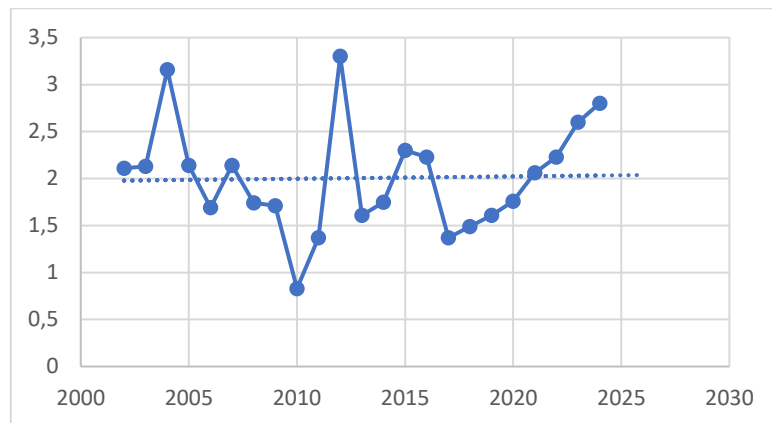


Рис. 4.10. Динаміка БСК у пункті спостережень с. Ковалівка.

На графіку рис. 4.11 відображено моделі, що описують залежність між середньою річною температурою води та БСК<sub>5</sub> у пункті спостережень 2.

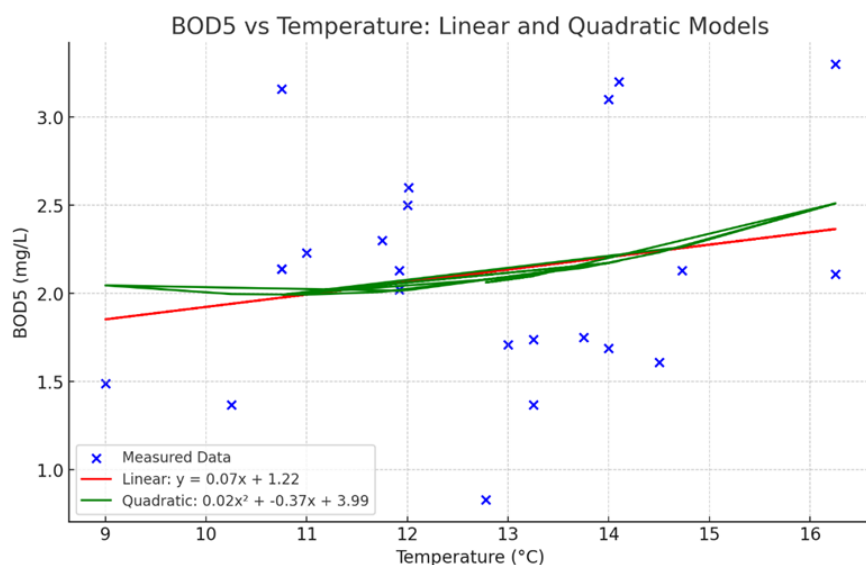


Рис. 4.11. Моделі залежності БСК<sub>5</sub> від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Червона лінія рис. 4.10 описує лінійну модель  $y=0,07x+1,22$ ; зелена лінія – квадратичну модель  $y=0,02x^2-0,37x+3,99$ . Лінійна модель показує помірну позитивну тенденцію, що зі збільшенням температури БСК<sub>5</sub> зростає.

Квадратична модель краще описує залежність, враховуючи вигини даних, особливо у діапазонах нижчих і вищих температур. При низьких середніх температурах (10–12°C) БСК<sub>5</sub> має тенденцію до зниження, що, ймовірно, пов'язано з меншою активністю мікроорганізмів за умов низької температури води. У середньому температурному діапазоні (12–14°C) БСК<sub>5</sub> стабілізується, демонструючи мінімальні зміни. За високих температур (понад 14°C) БСК<sub>5</sub> починає зростати, що може пояснюватися активізацією мікробіологічних процесів у теплій воді. Модель демонструє мінімум у середньому діапазоні температур (приблизно 12–13°C), що відповідає зниженню швидкості біохімічних процесів за цих умов. Ця точка мінімуму може відображати оптимальні умови для сповільнення окиснення органічних речовин, що характерно для перехідних температур. Квадратична модель враховує вплив декількох чинників, а саме: зниження розчинності кисню у воді з підвищенням температури, що стимулює зростання БСК<sub>5</sub>; зміна активності мікроорганізмів за різних температурних умов; зростання БСК<sub>5</sub> при високих температурах може бути наслідком розвитку гіпоксичних умов, коли водні організми швидше споживають кисень. Квадратична модель точніше описує складність біологічних та хімічних процесів у водних екосистемах, які нелінійно залежать від температури.

Динаміку БСК<sub>5</sub> у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис 4.12. Основні тенденції визначають значну варіабельність, що свідчить про нестабільність процесів. Незважаючи на значні коливання, вираженого тренду вниз упродовж усього періоду спостереження не спостерігається. Можна зазначити наявність короточасних циклів підйомів і спадів індикатора БСК<sub>5</sub>, що може бути обумовлено різноманітними чинниками.

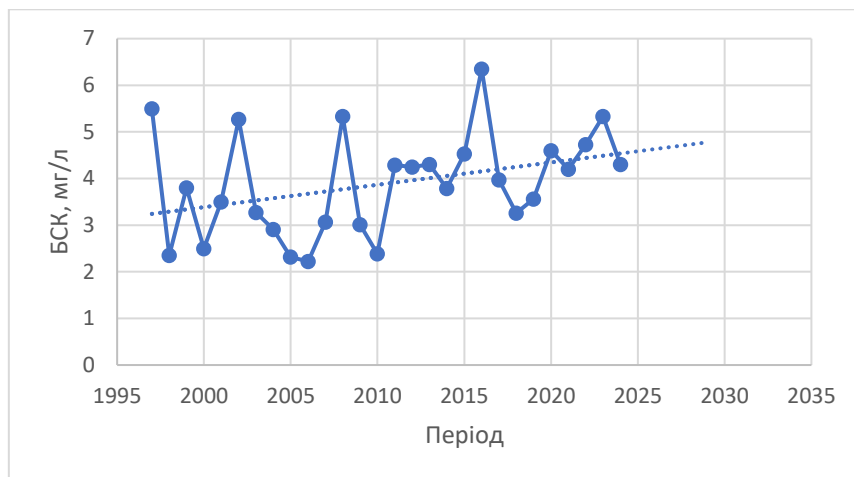


Рис. 4.12. Динаміка БСК<sub>5</sub> у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

На графіку рис. 4.13 відображено моделі, що описують залежність між середньою річною температурою води та БСК<sub>5</sub> у пункті спостережень 3.

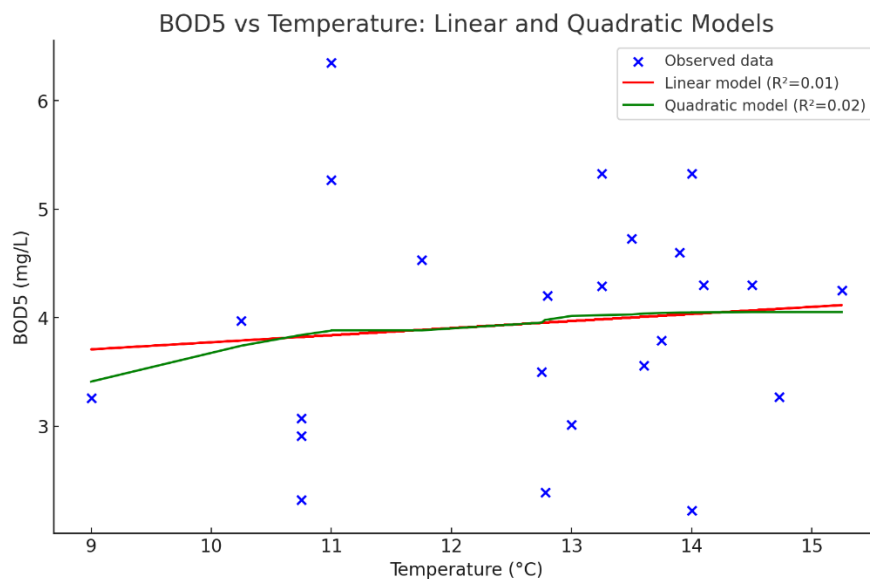


Рис. 4.13. Моделі залежності БСК<sub>5</sub> від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Для лінійної моделі  $BOD_5 = 0,065 \cdot T + 3,12$  (рис. 4.13) коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,01$ , що показує слабку кореляцію між середньою температурою води та БСК<sub>5</sub>. Низьке значення  $R^2$  свідчить про те, що температура пояснює лише 1% варіації БСК<sub>5</sub>, а основний вплив мають інші

чинники. Поліноміальна модель (квадратична)  $BOD_5=0,994 \cdot T-0,038 \cdot T^2-2,47$  коефіцієнт детермінації  $R^2=0,02$ . Поліноміальна модель краще описує залежність порівняно з лінійною моделлю, але  $R^2$  все ще залишається дуже низьким. Це означає, що квадратична залежність неадекватно відображає зміну БСК<sub>5</sub> при зміні температури. Графік рис. 4.13 показує розсіювання даних, де як лінійна, так і поліноміальна моделі майже не відображають загальної тенденції.

Графік рис. 4.14 демонструє зміну БСК<sub>5</sub> для обраних пунктів спостережень.

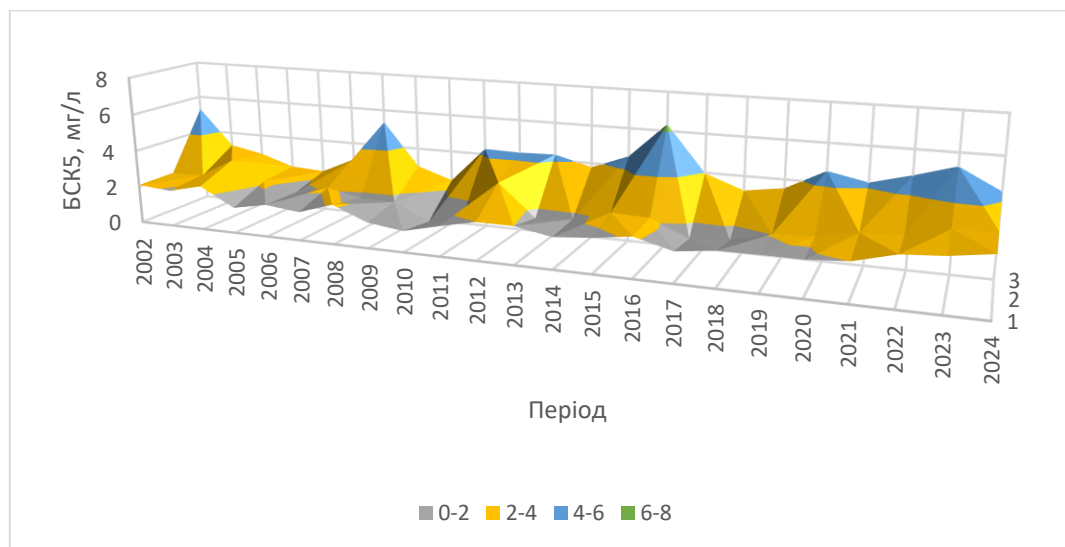


Рис. 4.14. Динаміка зміни БСК<sub>5</sub> у пунктах спостережень 1, 2, 3.

У пункті спостережень 1 (найдалша від гирла, рис. 4.14) спостерігаються найвищі піки БСК<sub>5</sub> у певні роки (2004, 2009, 2017), що може бути наслідком локального забруднення або недостатнього самоочищення річки. У пункті 3 (найближча до гирла) значення БСК<sub>5</sub> менші, що вказує на поступове розбавлення забруднень, природне самоочищення та можливий вплив змішування з морською водою. Простежуються чіткі цикли піків (2004, 2009, 2017), що може бути наслідком впливу сезонних або антропогенних чинників, таких як скидання забруднюючих речовин, а також екстремальних погодних умов. Після 2017 року значення БСК<sub>5</sub> знижуються, що може свідчити

про покращення стану води або зменшення інтенсивності забруднення. Отже, рівень БСК<sub>5</sub> знижується в міру наближення до гирла через ефекти розбавлення та природного очищення; спостерігаються циклічні підйоми рівня БСК<sub>5</sub> приблизно кожні 6 років. Це може бути пов'язано з кліматичними циклами або певними регулярними подіями (наприклад, паводками чи антропогенними чинниками).

Отже, у поверхневих водах простежується закономірність зниження концентрації розчинного кисню з підвищенням температури води. Так, при температурі понад 14°C концентрація розчинного кисню зменшується до 2,2–2,5 мг/л, що свідчить про несприятливі умови для водних організмів. Найвищі значення розчинного кисню (>5 мг/л) фіксуються за температури води нижче 12°C, що пов'язано з підвищеною здатністю води до утримання кисню в холодному середовищі.

БСК<sub>5</sub> демонструє зростання із збільшенням температури води, що вказує на активні біохімічні процеси, зокрема розкладання органічних речовин. Так, за температури понад 13°C БСК<sub>5</sub> досягає значень 5,3–6,35 мг/л, тоді як при нижчих температурах (<12°C) цей показник коливається в межах 2,2–3,5 мг/л. Зростання БСК<sub>5</sub> при високих температурах свідчить про значне антропогенне забруднення, особливо органічними речовинами, що створює додаткове навантаження на водні екосистеми.

Підвищення температури спричиняє зниження концентрації розчинного кисню та одночасне зростання БСК, що свідчить про високу біохімічну активність у теплій воді. Це може призводити до дефіциту кисню та розвитку стресових умов для гідробіонтів. Поєднання низької концентрації розчинного кисню (<3 мг/л) із високими значеннями БСК (>5 мг/л) вказує на критичний стан водних об'єктів, що може бути наслідком кліматичних змін або антропогенного навантаження.

### 4.3. Дослідження зміни показників рН і мінералізації.

Наступними параметрами, які підлягали дослідженню були водневий показник (рН) і мінералізація. Це інтегровані гідрохімічні показники якості води, які формуються під впливом різноманітних гідрологічних, кліматичних, географічних чинників.

На рис. 4.14 подано динаміку рН у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська) за період 1980–2024 років. Лінійна регресія  $y=0,0014x+5,4276$ , ( $R^2=0,0112$ ) показує незначне зростання рН з часом, але коефіцієнт детермінації свідчить про малопомітний тренд. Квадратична регресія  $y=-0,0002x^2+0,9244x-919,42$ , ( $R^2=0,045$ ) також не демонструє суттєвої відповідності між часом і зміною рН. З 1980-х до початку 2000-х рН значно варіює (від 7,8 до 8,8). Після 2000-х років спостерігається стабілізація в діапазоні 8,1–8,3. Найбільший пік (рН $\approx$ 8,8) спостерігається у 1999 році, ймовірно, через короткостроковий вплив зовнішніх чинників. Загалом, діапазон рН знаходиться в межах слабо-лужного середовища, що є прийнятним для більшості водних екосистем.

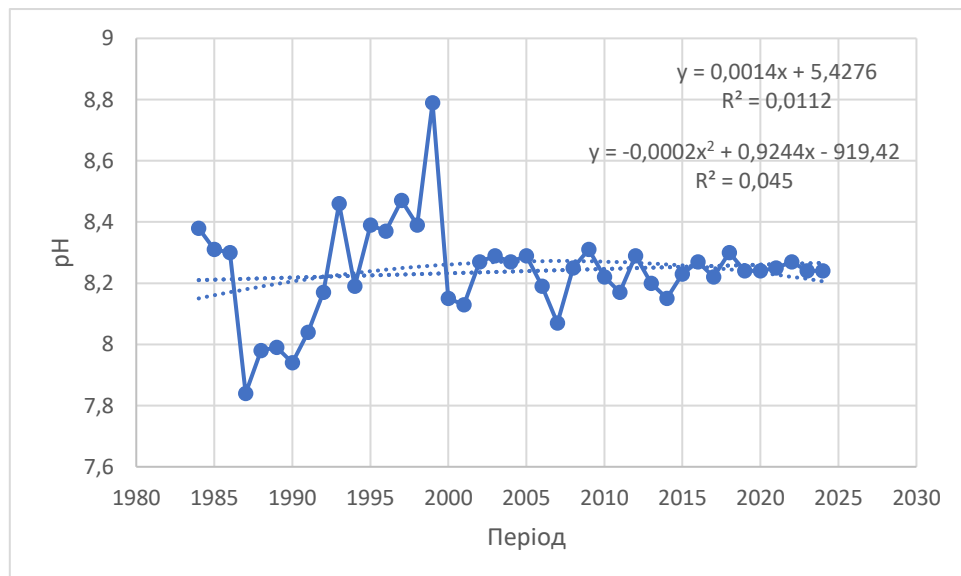


Рис. 4.15. Динаміка рН у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська) подано на рис. 4.16. Середня температура варіюється в діапазоні від 9,96°C до 15°C. Значення рН коливаються від 7,84 до 8,79, що вказує на незначний вплив температури на рівень рН у нейтрально-лужному середовищі. Дані показують невелику розсіюваність навколо середніх значень, що вже вказує на слабкий кореляційний зв'язок між змінними.

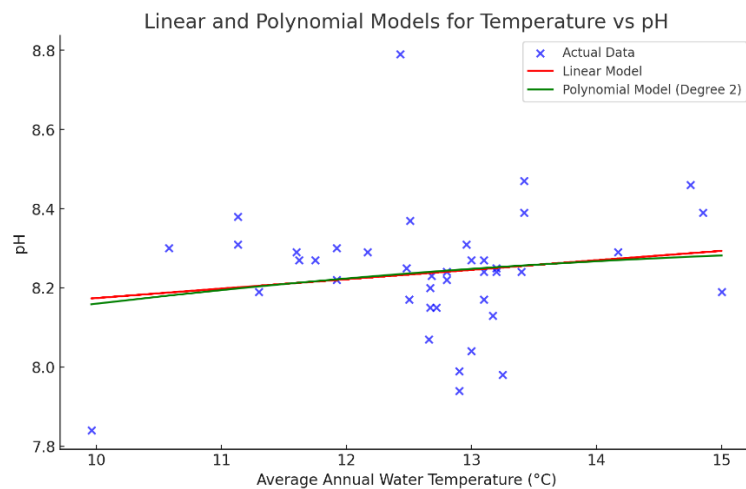


Рис. 4.16. Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Лінійна модель  $pH = a \cdot T + b$ ; коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,15$ . Значення свідчить про те, що лише 15% змін у значеннях рН можна пояснити змінами середньої температури води. Слабкий нахил лінії тренду вказує на незначну позитивну кореляцію між середньою температурою води та рН. Зі збільшенням температури рівень рН зростає незначно. Лінія тренду проходить майже горизонтально з мінімальним нахилом. Більшість точок відхиляються від лінії, що вказує на значну варіабельність даних і слабкий зв'язок між змінними. Поліноміальна модель другого ступеня  $pH = a \cdot T^2 + b \cdot T + c$ ; коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,28$ . Модель другого ступеня краще описує залежність між температурою і рН порівняно з лінійною моделлю. 28% змін у значеннях рН пояснюються середньою температурою води. Крива демонструє, що при дуже

низьких або високих температурах значення рН злегка підвищуються, а в середньому діапазоні температур (близько 12–13°C) рівень рН стабілізується. Поліноміальна крива другого ступеня краще проходить крізь дані порівняно з лінійною моделлю. Проте розсіювання точок все ще залишається значним, що свідчить про вплив інших чинників. Однак обидві моделі показують, що температура пояснює лише незначну частину змін рН (15–28%), а основний вплив на рН можуть мати інші чинників: гідрохімічний склад води, біологічна активність, сезонні зміни або антропогенний вплив.

Динаміку рН у пункті спостережень у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.17.

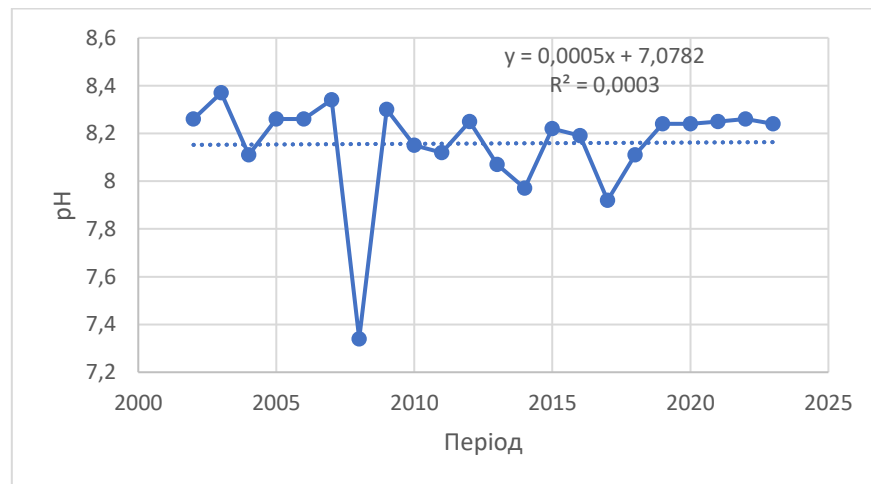


Рис. 4.17. Динаміка рН у пункті спостережень с. Ковалівка.

Графіка динаміки рН (рис. 4.17) свідчить, що значення рН переважно стабільні, коливаються в діапазоні 8,0–8,4, що вказує на нейтрально-лужне середовище. Лінійне рівняння  $y=0,0005x+7,0782$  з коефіцієнтом нахилу 0,0005 свідчить про мінімальне зростання рівня рН упродовж періоду спостережень. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,0003$  наближається до нуля, що означає надзвичайно слабкий зв'язок між часом і значеннями рН. Лінія тренду є практично горизонтальною, що підтверджує відсутність чіткої тенденції до зростання чи зниження рН. Коливання рН є незначними, за винятком

аномального спаду у 2008 році. У період 2014–2022 років спостерігається відносна стабільність значень рН на рівні близько 8,2.

Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.18.

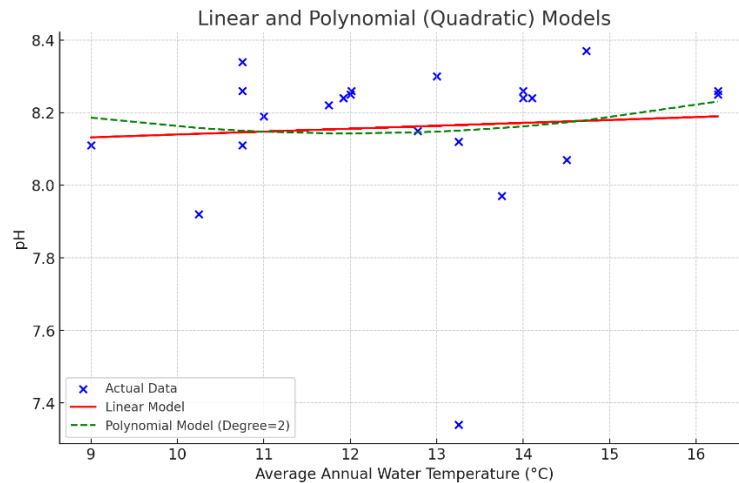


Рис. 4.18. Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Лінійна модель з коефіцієнт нахилу 0,008 демонструє слабкий зв'язок між середньою річною температурою та рН. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,005$  свідчить, що лише 0,5% варіації рН можна пояснити змінами температури води. Це свідчить про дуже слабкий лінійний зв'язок. Поліноміальна квадратична модель з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,014$  вказує, що квадратична модель також не має значної здатності пояснити варіацію рН. Обидві моделі демонструють дуже слабкий зв'язок між середньою річною температурою води та рН.

Графік (рис. 4.19) відображає зміну рівня рН з часом у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ). Незважаючи на значні коливання, загальна тенденція свідчить про незначне збільшення рН з часом. Це підтверджується лінією тренду, яка має позитивний нахил. Значення рН демонструють значні коливання від року до року, що свідчить про вплив різних чинників, зокрема зміни клімату, антропогенний вплив тощо.

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,2245$ , що означає, що лише близько 22% варіації рН пояснюється лінійною залежністю від часу. Збільшення рН з часом може свідчити про процеси залуження системи. Це може бути пов'язано з різними чинниками, а саме: зміни у складі опадів; зміни у рослинності та мікробіологічній активності; кліматичними подіями (посухи, зливи); антропогенним впливом (використання добрив, скидання стічних вод) тощо.

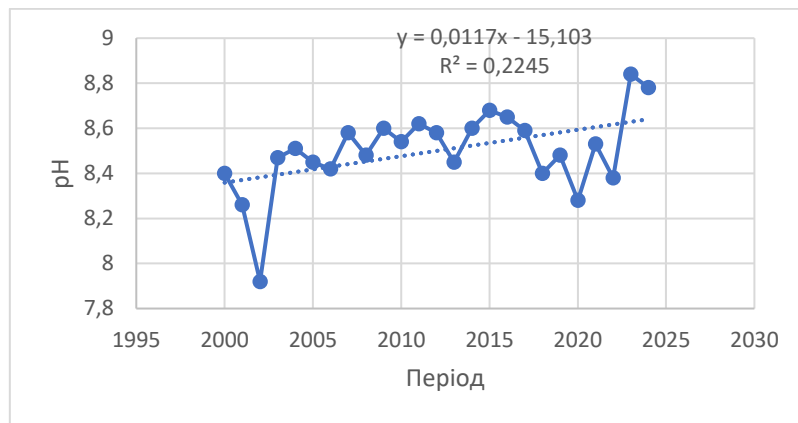


Рис. 4.19. Динаміка рН у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис. 4.20.

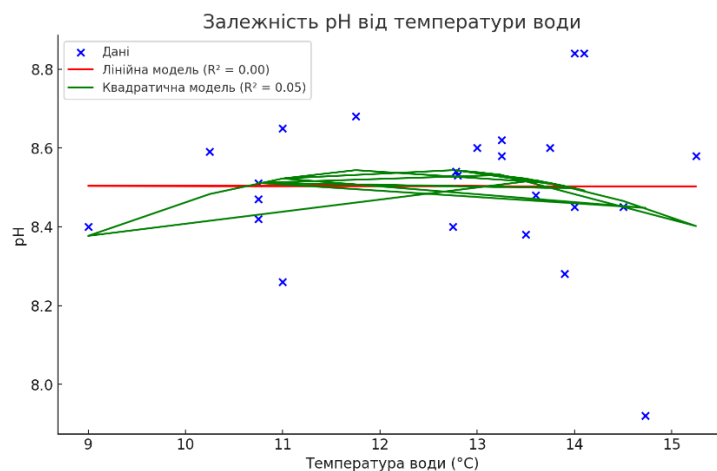


Рис. 4.20. Моделі залежності рН від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Лінійна модель  $pH = -0,00024 \cdot T + 8,5064$ ; коефіцієнт детермінації  $R^2 \approx 0,00$ , що означає слабкий зв'язок pH від температури. До того, квадратична модель  $pH = 0,397 \cdot T^2 - 0,016 \cdot T + 6,118$  із коефіцієнтом детермінації  $R^2 \approx 0,05$  також вказує на слабкий зв'язок, проте квадратична модель показує трохи кращу відповідність даним. Обидві моделі демонструють низький коефіцієнт детермінації, що свідчить про відсутність суттєвої залежності між температурою води і рівнем pH у наданих даних.

Графік рис. 4.21 демонструє зміну pH для обраних пунктів спостережень у часі і просторі.

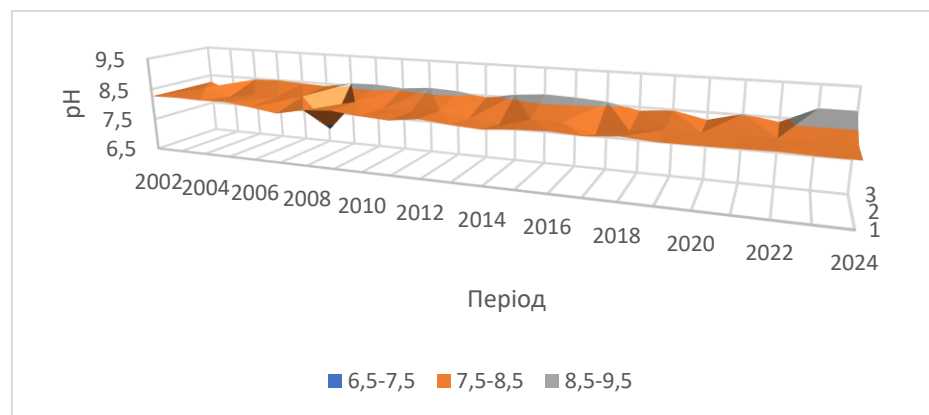


Рис. 4.21. Динаміка зміни pH у пунктах спостережень 1, 2, 3.

Усі три пункти спостережень (рис. 4.20) показують, що значення pH коливаються в діапазоні 7,5–8,5, що свідчить про стабільний слабколужний характер води у річці. Проте, є окремі відхилення, особливо у 2008–2009 і 2018–2019 роках, коли спостерігається різке падіння значень pH (нижче 7,5, можливо, навіть до рівня 6,5–7). Можливими причинами цього є атмосферні опади, промислові чи сільськогосподарські скиди, а також сезонні чинники (зливи). Пункт 3, найближчий до гирла річки, має стійкіший рівень pH порівняно з іншими пунктами, що може бути пов'язано з розбавленням води в гирловій зоні.

Наступний інтегрований гідрохімічний показник, динаміку якого було проаналізовано, це – мінералізація, яка значно впливає на буферну ємність

води. Основний зв'язок відбувається через гідрогенкарбонатну систему ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), яка регулює кислотно-лужний баланс. Априорі, у слабко-лужному діапазоні (7,5–8,5) спостерігається помірна мінералізація.

Дослідження зв'язку між мінералізацією та температурою води дозволить оцінити вплив кліматичних змін, а зв'язку між мінералізацією та рН допоможе нам оцінити стійкість водної системи до антропогенних і природних чинників.

На рис. 4.22 подано динаміку мінералізації у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська). Трендова лінія має рівняння  $y=2,0779x-3630,5$ , що вказує на лінійний приріст із позитивним нахилом. Коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,3801$ ) свідчить про те, що приблизно 38% варіації мінералізації пояснюється лінійним трендом. Інші чинники, ймовірно, також впливають на значення. На графіку спостерігаються флуктуації (зниження та підвищення), але загальна тенденція йде вгору. Помітні спади близько 1994 та 2004 років, але після цього значення повертаються до зростання. Останні роки (2020–2025) мінералізація стабільно тримається на вищому рівні, близько 600 мг/л.

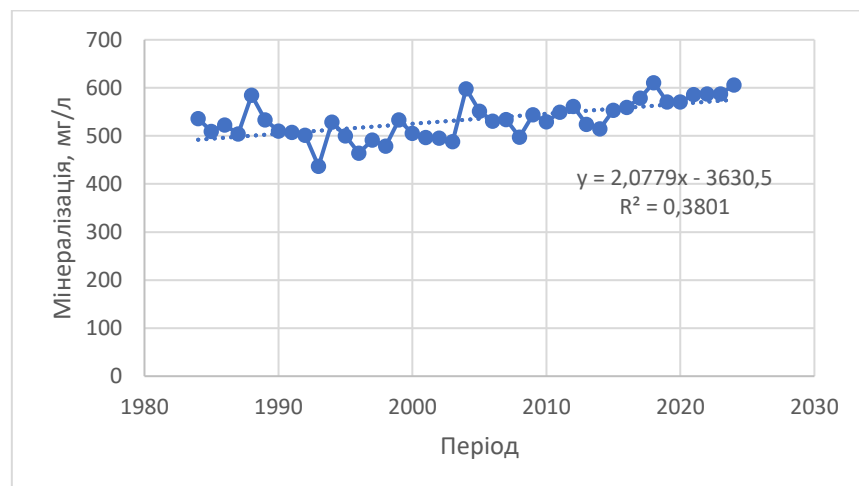


Рис. 4.22. Динаміка мінералізації у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Отже, упродовж періоду спостережень мінералізація води показує стійку тенденцію до збільшення. Лінійний тренд вказує на середній приріст близько 2,08 мг/л на рік. Значні коливання на окремих етапах можуть бути пов'язані з природними або антропогенними чинниками.

Моделі залежності мінералізації від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська) подано на рис. 4.23.

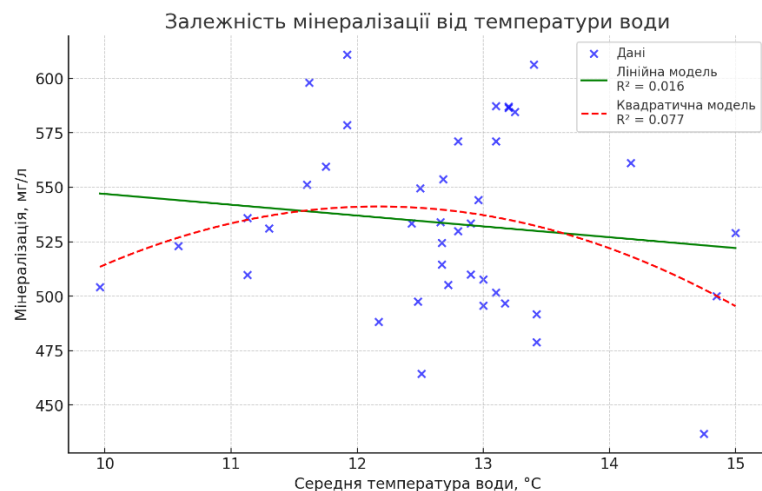


Рис. 4.23. Моделі залежності мінералізації від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Для лінійної моделі коефіцієнт детермінації  $R^2=0,016$ , тобто лінійна модель пояснює лише 1,6% варіації в мінералізації залежно від температури. Поліноміальна квадратична модель має коефіцієнт детермінації  $R^2=0,077$  і пояснює тільки 7,7% варіації. Отже, аналіз свідчить, що мінералізація мало залежить від температури води.

Динаміку мінералізації у пункті спостережень у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.24.

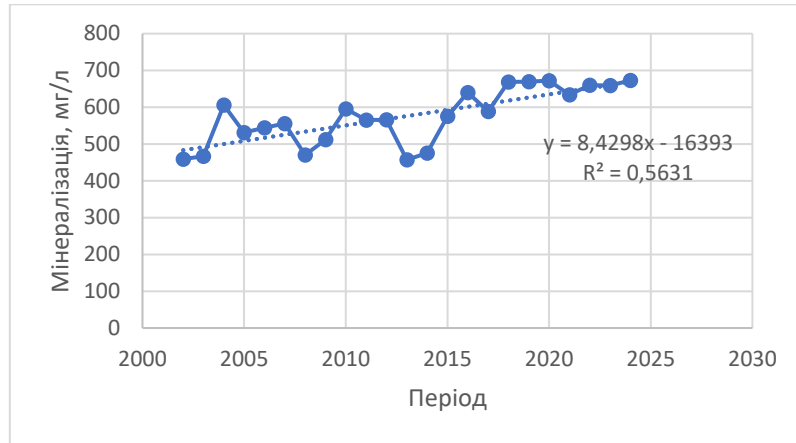


Рис. 4.24. Динаміка мінералізації у пункті спостережень с. Ковалівка.

Загалом спостерігається тенденція до підвищення мінералізації, що видно як із графіку (рис. 4.24). Показник мінералізації збільшується приблизно на 8,43 мг/л щороку. Коефіцієнт  $R^2=0,5631$  вказує, що близько 56% варіацій даних можна пояснити цим трендом. Значення мінералізації упродовж досліджуваного періоду мають значну мінливість. Помітні періоди спаду (близько 2010 року) і різкого зростання (після 2015 року). Можливо, ці зміни пов'язані з умовами, наприклад, змінами у водозаборі, кліматичних чинниках, антропогенним впливом.

Визначимо моделі залежності мінералізації від температури води, може пояснити кліматичні впливи на цей інтегрований гідрохімічний показник, їх подано на рис. 4.25.

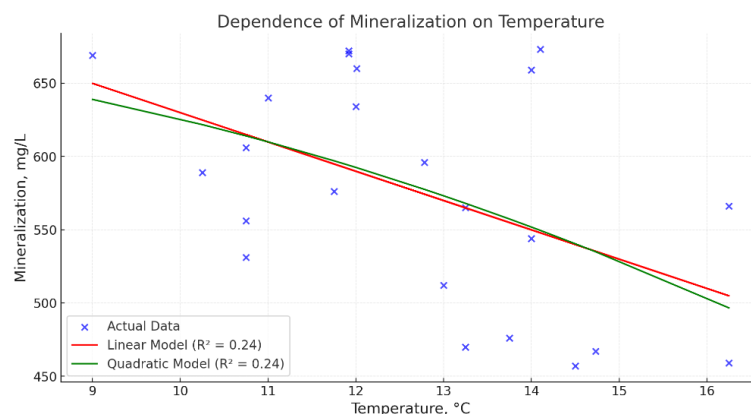


Рис. 4.25. Моделі залежності мінералізації від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Отже, зв'язок між температурою та мінералізацією є слабким в обох моделях (рис. 4.25) і має інші форми залежності. На мінералізацію мало впливає температура води і впливають інші параметри, такі як гідрохімічні властивості, сезонність або антропогенні чинники.

Графік (рис. 4.26) відображає зміну рівня мінералізації з часом у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

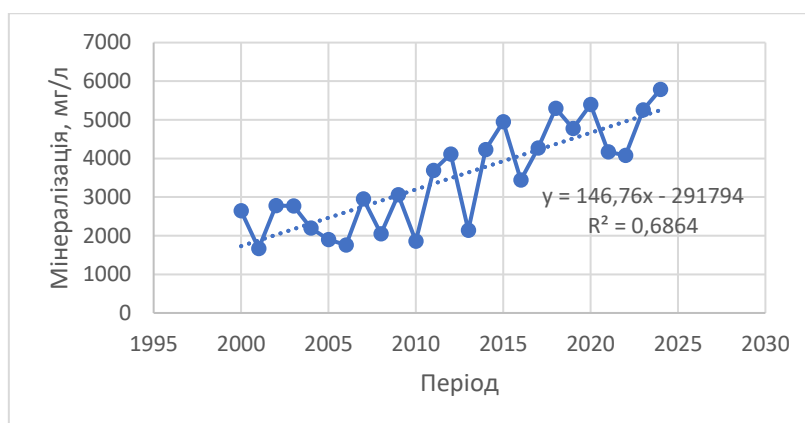


Рис. 4.26. Динаміка мінералізації у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Моделі залежності мінералізації від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис. 4.27.

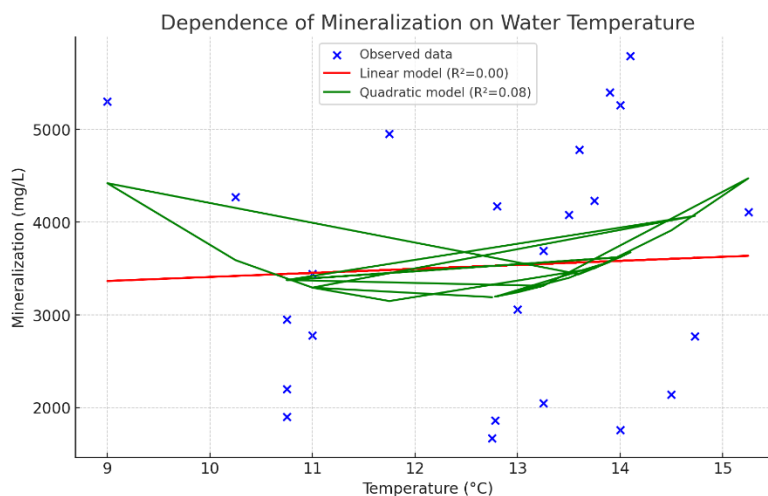


Рис. 4.27. Моделі залежності мінералізації від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Рівняння залежності лінійної моделі  $y=43,43x+2974,60$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,0029$  свідчить про дуже слабку відповідність моделі до даних. Рівняння квадратичної моделі залежності  $y=-3250,37+134,38x+22787,56x^2$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,0754$  також свідчить про ж слабку відповідність. Отже, спостерігається значне розсіювання даних, що може свідчити про відсутність суттєвої залежності мінералізації від температури та про вплив інших чинників на мінералізацію.

Графік рис. 4.28 демонструє зміну мінералізації для обраних пунктів спостережень у часі і просторі.

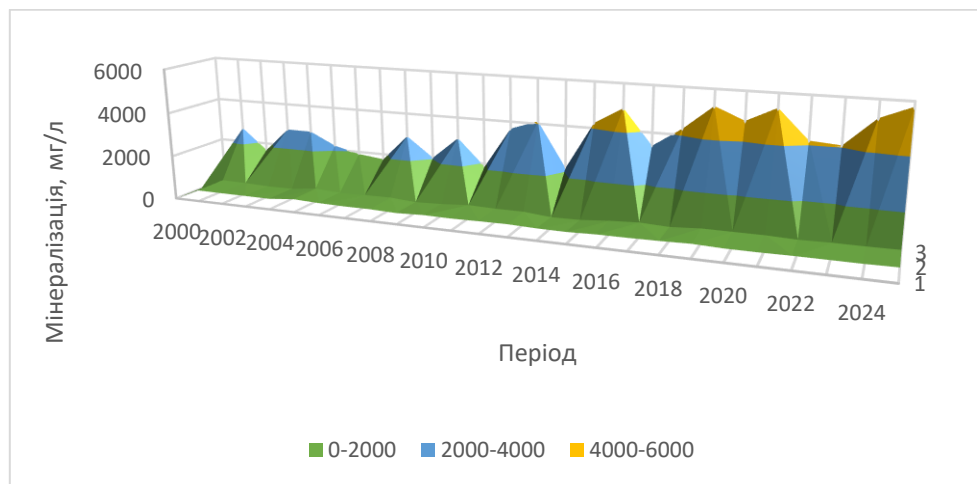


Рис. 4.28. Динаміка зміни мінералізації у пунктах спостережень 1, 2, 3.

Зазначимо, що у період з 2000 по 2024 роки спостерігається загальне зростання рівня мінералізації у всіх пунктах. Пікові значення мінералізації стають більш вираженими в останні роки. Найнижча мінералізація спостерігається у пункті 1, який є найбільш віддаленим від гирла річки, пункт 3, найближчий до гирла, демонструє найвищу мінералізацію, особливо в останні роки, що може бути результатом накопичення солей та інших речовин, перенесених течією. Зона 0–2000 мг/л найбільше представлена в пунктах 1 і 2, що свідчить про переважно менший рівень мінералізації у верхніх ділянках річки. Зона 4000–6000 мг/л найбільш характерна для пункту 3, особливо в

останні роки. Просторова динаміка вказує на зростаючий вплив гирлової ділянки, яка, ймовірно, накопичує розчинені речовини через недостатній стік або морську регресію.

Отже, у всіх пунктах спостережень значення рН мають стабільний слабо-лужний характер (7,5–8,5), без значних довгострокових змін; значні коливання значень рН у деяких роках (2008, 2018–2019) можуть бути пов'язані з атмосферними опадами, антропогенним впливом або сезонними чинниками. У всіх пунктах спостережень загальна тенденція мінералізації зростає. Просторова динаміка демонструє зростаючий вплив гирлової ділянки, де відбувається накопичення розчинених речовин.

Виявлено слабку кореляцію між рН і температурою (коефіцієнт детермінації  $R^2=0,15-0,28$  у різних пунктах). Температура пояснює лише 15–28% змін рН. Залежність мінералізації від температури також є слабкою, з коефіцієнтами детермінації  $R^2=0,016-0,077$ . Температура води впливає на мінералізацію лише незначною мірою. Мінералізація, швидше за все, визначається іншими чинниками, такими як антропогенний вплив, гідрохімічні властивості та сезонність.

#### **4.4. Дослідження зміни показника твердості води.**

Далі у полі зору щодо вивчення тенденцій динаміки та залежності від параметру температури став показник твердості води.

На рис. 4.29 подано діаграму динаміки твердості у спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

На основі графіка рис. 4.29 можна зазначити, що лінія тренду показує незначне зростання твердості води за досліджуваний період, що виражено рівнянням регресії. Коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,0253$ ) є дуже низьким, що вказує на слабкий зв'язок між часом і зміною твердості. Спостерігаються періодичні зміни твердості води, проте середнє значення коливається близько

6 мг-екв/л. Максимальні значення наближаються до 7-8 мг-екв/л, а мінімальні – до 5 мг-екв/л.

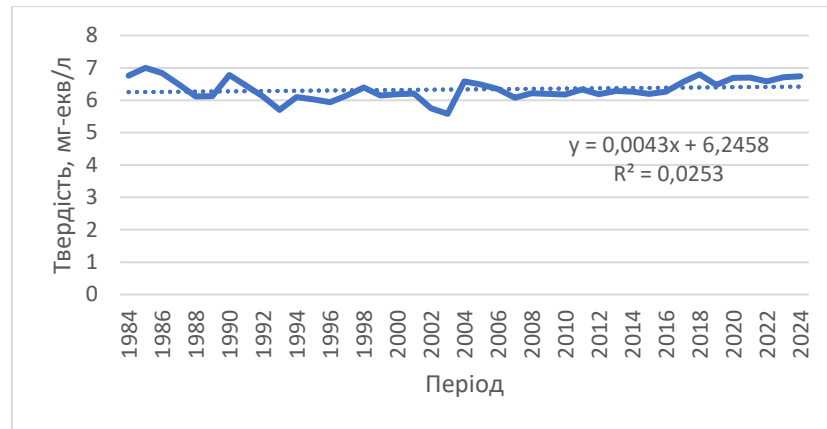


Рис. 4.29. Динаміка твердості у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Моделі залежності твердості від температури, лінійна і квадратична поліноміальна (рис. 4.30) мають схожий рівень відповідності даним, демонструють слабкий зв'язок між температурою та твердістю води.

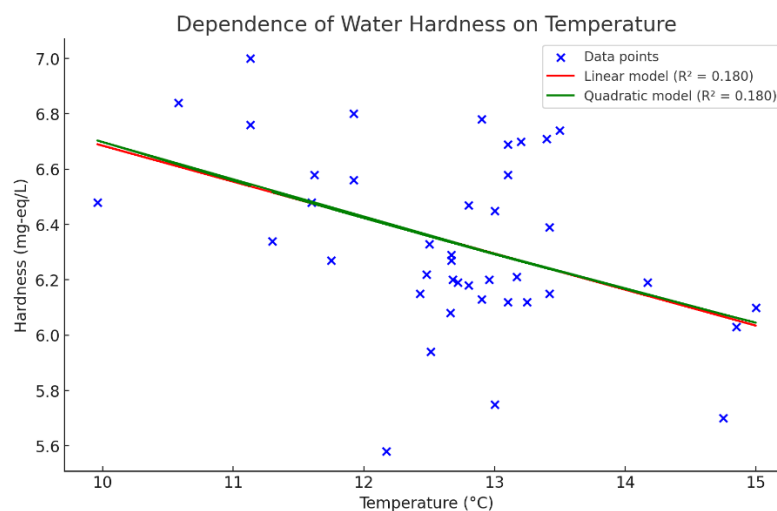


Рис. 4.30. Моделі залежності твердості від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

На рис. 4.31 подано діаграму динаміки твердості у спостережень с. Ковалівка. Загальна тенденція – зростання. Незважаючи на значні коливання, загальна тенденція свідчить про поступове збільшення твердості води

упродовж досліджуваного періоду, що підтверджується позитивним кутом нахилу лінії тренду. Значення твердості демонструють значні відхилення від загальної тенденції, що може бути пов'язано з різноманітними чинниками, такими як сезонні зміни, кліматичні умови, антропогенний вплив тощо. Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,5954$  вказує на те, що лінійна регресія пояснює лише близько 60% варіації даних. Це означає, що інші, не враховані моделлю, чинники також суттєво впливають на зміну твердості води.

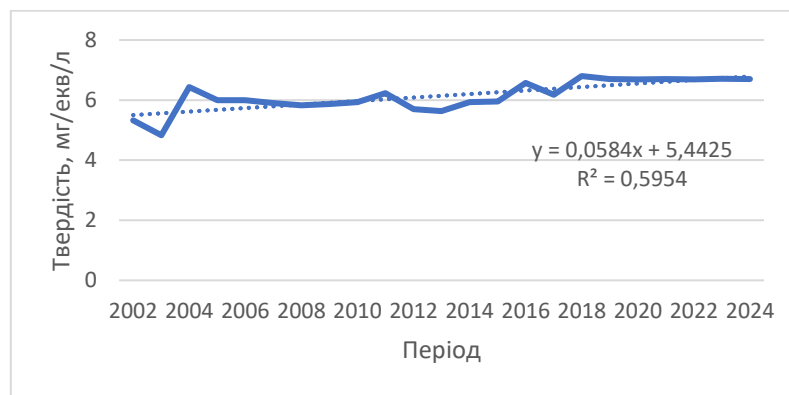


Рис. 4.31. Динаміка твердості у пункті спостережень с. Ковалівка.

Причинами зміни твердості води є: геологічні особливості території, де проходять водоносні горизонти, які впливають на твердість води; зміна режиму опадів і температури; рівень і якість ґрунтових вод; скидання неочищених промислових стічних; використання добрив та пестицидів.

Моделі залежності твердості від температури води подано на рис. 4.32. Лінійна модель ( $y = -0,1519x + 8,0716$ ) показує, що твердість зменшується зі збільшенням температури зі швидкістю 0,1519 мг-екв/л на кожен градус підвищення температури. Проте, модель не враховує можливі нелінійні ефекти. Наприклад, реальні дані можуть показувати сповільнення або прискорення змін залежно від температури. Квадратична модель ( $y = -0,0205x^2 + 0,3741x + 4,7700$ ) враховує нелінійну поведінку даних. Так, при низьких температурах (до 11–12°C) твердість зростає або стабілізується. У

діапазоні середніх температур (12–14°C) спостерігається стабільність. При високих температурах (понад 14°C) твердість різко знижується. Отже, квадратична модель точніше враховує характер змін у твердості для цієї вибірки даних і забезпечує кращу апроксимацію в середньому діапазоні температур. Коефіцієнти детермінації: для лінійної моделі  $R^2=0,305$ ; для квадратичної моделі  $R^2=0,332$  свідчать про значну залишкову варіацію, яку вони не пояснюють.

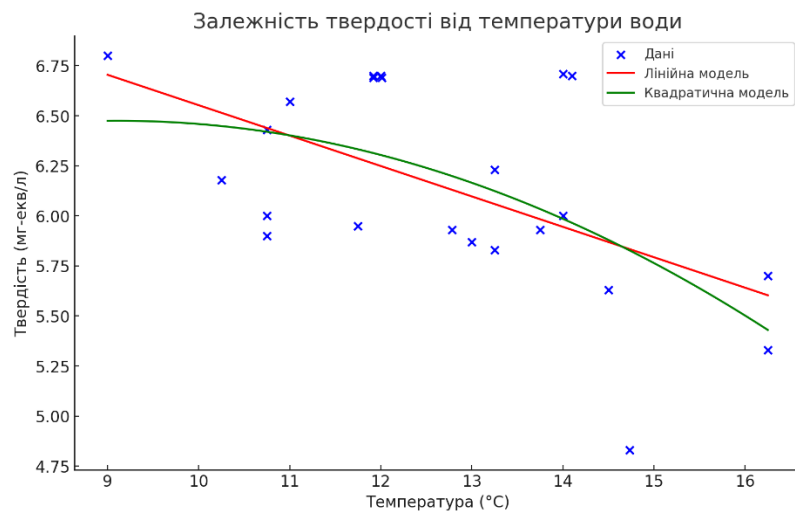


Рис. 4.32. Моделі залежності твердості від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Діаграму динаміки твердості (рис. 4.33) у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) свідчить про загальну тенденцію до поступово зростання. У деяких періодах спостерігаються незначні коливання. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,6847$  вказує на те, що лінійна регресія пояснює близько 70% варіації даних, що є досить високим показником лінійної моделі.

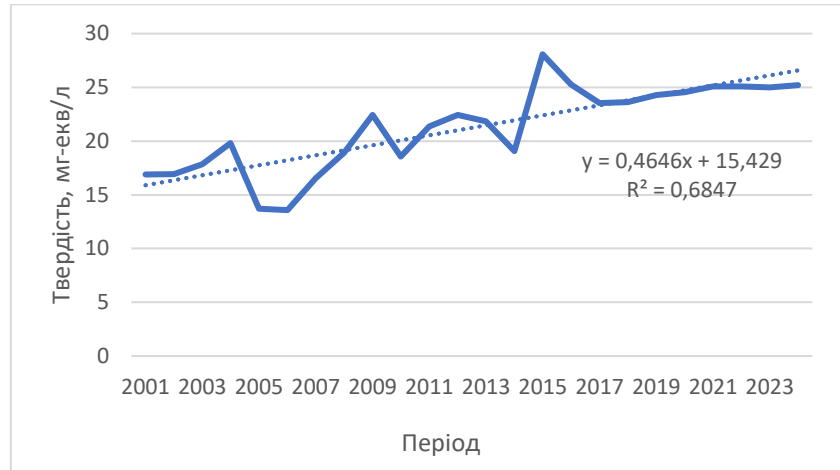


Рис. 4.33. Динаміка твердості у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Моделі залежності твердості від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис. 4.34. Лінійна модель: рівняння:  $y = -0,20x + 15,97$ ,  $R^2 = 0,31$ ; квадратична модель: рівняння  $y = 0,00x^2 - 0,39x + 17,83$ ,  $R^2 = 0,31$ .

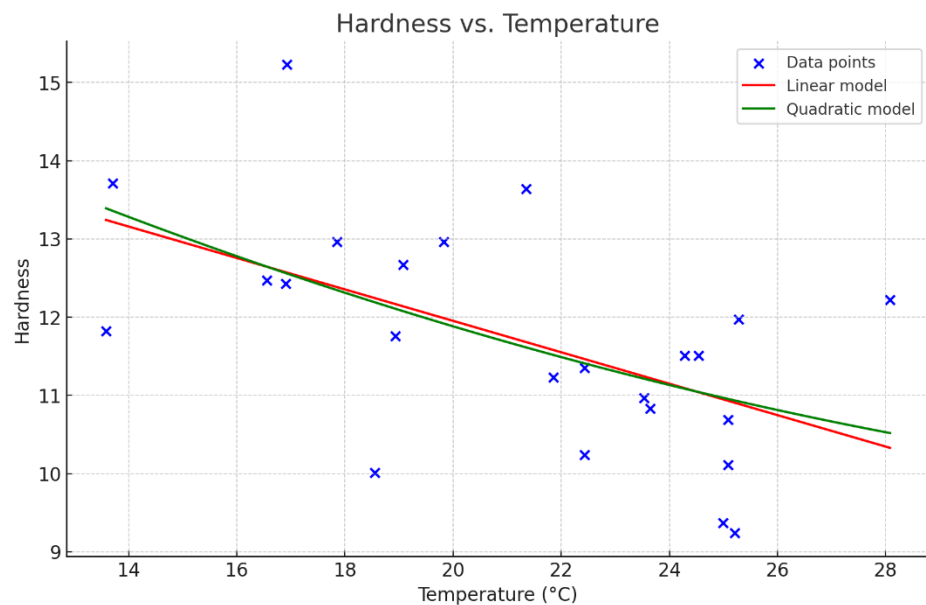


Рис. 4.34. Моделі залежності твердості від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Обидві моделі мають низький коефіцієнт детермінації  $R^2$ , що вказує на те, що жодна з них не пояснює значну частину варіації в даних. Квадратична

модель лише трохи перевершує лінійну, але різниця між ними практично незначна.

Динаміку зміни твердості у пунктах спостережень 1, 2, 3 подано на рис. 4.35.

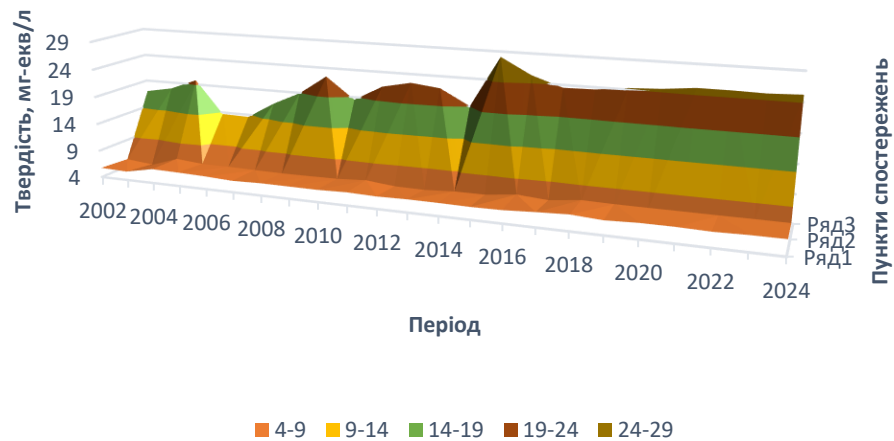


Рис. 4.35. Динаміка зміни твердості у пунктах спостережень 1, 2, 3.

Рівень твердості у пункт 1 (найдальший від гирла) значення знаходяться в діапазоні 14–19 мг-екв/л упродовж більшої частини періоду. У 2002–2010 роках спостерігається стабільність показників, без різких змін. У період після 2010 року незначні коливання можуть бути пов'язані з локальними природними чинниками, а саме кількістю опадів. У пункті 2 рівень твердості поступово зростає у період 2010–2024 років, особливо в другій половині аналізованого періоду (після 2015 року) у діапазоні 19–24 мг-екв/л. Після 2015 року твердість суттєво зросла, що може свідчити про антропогенний вплив, а саме сільськогосподарські скиди; потрапляння стічних вод із населених пунктів або промислових об'єктів; зміна гідрологічного режиму річки. У пункті 3 (найближчий до гирла) рівень твердості найвищий серед усіх пунктів. Значення сягають 24–29 мг-екв/л, особливо у 2015–2024 роках. Твердість залишається відносно стабільною до 2010 року, але у 2015 році починається стрімкий ріст. Максимальні значення спостерігаються в останнє десятиліття. Можливими причинами цього є: потрапляння великої кількості домішок і

розчинених мінералів із верхньої течії; вплив скидів стічних вод та накопичення забруднюючих речовин у гирловій зоні; збільшення антропогенного впливу.

Отже, найвищі показники твердості фіксуються в пункті 3, що є характерним для річок через накопичення домішок. Після 2015 року значення твердості зросли, що можна пояснити змінами клімату (зменшення кількості води в річці, концентрація солей), інтенсифікацією сільського господарства та промисловості в басейні річки, будівництвом гідротехнічних споруд (дамби, водосховища), що впливають на гідрологічний режим річки.

#### **4.5. Дослідження зміни показника загального заліза.**

Загальне залізо у поверхневих водах є важливим інтегрованим показником якості води, оскільки воно відбиває природні процеси (вивітрювання гірських порід, ґрунтовий стік) і антропогенний вплив (промислові скиди, сільське господарство, міські скиди).

Вивільнення заліза відбувається внаслідок ерозії порід, розчинення мінералів (сидериту, гематиту, лімоніту), а також у болотистих районах, де переважають відновні процеси. Джерелами заліза є шахти, металургійні підприємства, сільське господарство (добрива), каналізаційні стоки, теплові електростанції. Розрізняють розчинене ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) та нерозчинене (гідроксиди, колоїдні форми, органічні комплекси). Висока концентрація заліза може сигналізувати про інтенсивний природний дренаж залізовмісних ґрунтів або техногенне забруднення. Загальне залізо є комплексним показником, який ми аналізуємо разом з іншими гідрохімічними параметрами для повноцінної оцінки стану поверхневих вод.

Рис. 4.36 демонструє динаміку загального заліза у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

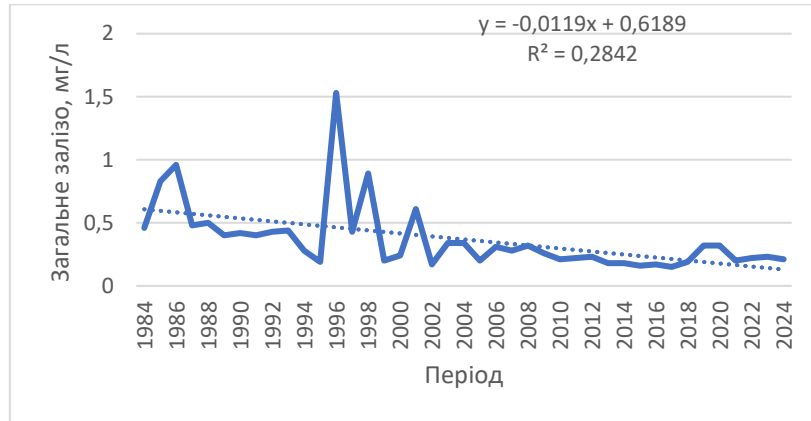


Рис. 4.36. Динаміка загального заліза у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Загальний тренд свідчить про спад концентрації загального заліза з 1984 року. Лінійне рівняння тренду  $y = -0,0119x + 0,6189$  з коефіцієнтом детермінації ( $R^2 = 0,2842$ ) свідчить про слабкий зв'язок між роком та концентрацією заліза, що вказує на значні коливання значень. Відносно стабільний рівень із середніми значеннями 0,3–0,6 мг/л спостерігаються у 1984–1994 роках. Високий сплеск концентрації у 1996 році (понад 1,5 мг/л), можливо, спричинений зміною гідрологічних або техногенних чинників. Після 2000 року загальне залізо стабілізувалося на рівні нижче 0,5 мг/л. Причинами поступового зменшення концентрації загального заліза можна пояснити зменшенням антропогенного впливу, зміною у водному балансі, кліматичними умовами, процесами самоочищення водою.

Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська) подано на рис. 4.37.

Залежність концентрації загального заліза від температури води

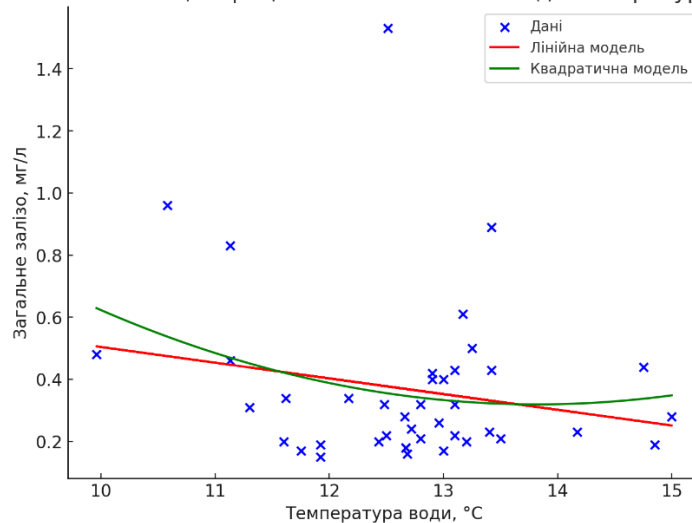


Рис. 4.37. Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Лінійна залежність відповідає рівнянню  $y = -0,0505x + 1,0093$  з коефіцієнтом кореляції  $R^2 = 0,039$  свідчить, що лише 3,9% варіації вмісту заліза можна пояснити змінами температури. Отже, температура не є основним фактором, що визначає концентрацію загального заліза у воді. Невеликий від'ємний коефіцієнт нахилу ( $-0,0505$ ) означає, що зі зростанням температури концентрація заліза має тенденцію до зниження, але цей ефект незначний. Квадратична (поліноміальна) залежність відповідає рівнянню  $y = 4,2937 - 0,5753x + 0,0208x^2$ . Наявність квадратичного члена ( $+0,0208x^2$ ) вказує на можливу нелінійність у залежності. Негативний коефіцієнт перед лінійним членом ( $-0,5753$ ) свідчить про тенденцію до зменшення концентрації заліза з підвищенням температури, але квадратичний доданок може означати, що за певних температурних значень концентрація знову збільшується. Інші чинники (хімічний склад води, сезонність, джерела забруднення) можуть сильніше впливати на концентрацію загального заліза, ніж температура води.

Рис. 4.38 демонструє динаміку загального заліза у пункті спостережень с. Ковалівка.

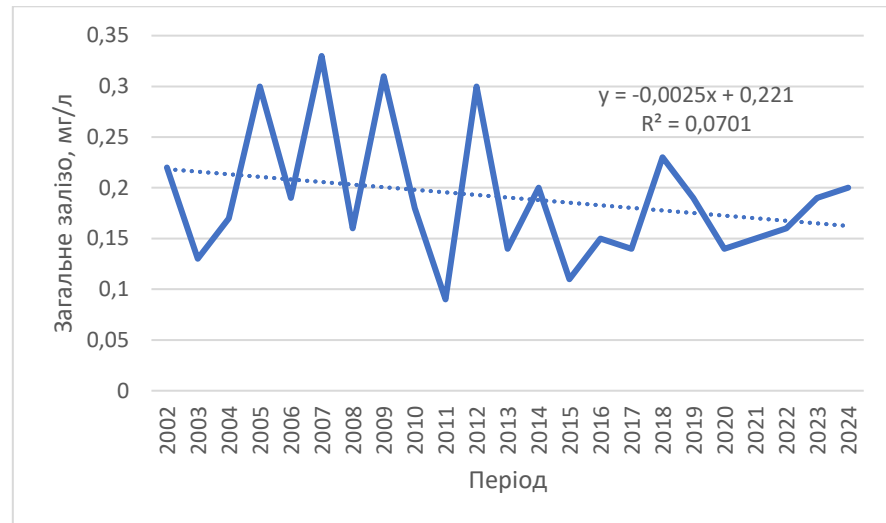


Рис. 4.38. Динаміка загального заліза у пункті спостережень с. Ковалівка.

Поліноміальний тренд (рис. 4.38) показує слабку низхідну тенденцію концентрації загального заліза. Рівняння тренду  $y = -0,0025x + 0,221$  свідчить про незначне зниження концентрації ( $\sim 0,0025$  мг/л щороку). Низький коефіцієнт детермінації  $R^2=0,0701$  вказує на слабку відповідність трендової лінії реальним змінам у даних, що означає, що зміни концентрації заліза мають значний розкид і піддаються впливу інших чинників. У період 2003–2012 рр. спостерігаються різкі коливання концентрації загального заліза, зокрема різкі піки (близько 0,3 мг/л) та падіння ( $\sim 0,1$  мг/л). Після 2012 року рівень загального заліза зменшився, але залишався нестабільним. У період 2016–2021 рр. концентрація загального заліза знизилася до мінімальних значень; починаючи з 2021 року, спостерігається тенденція до зростання концентрації. Зниження концентрації загального заліза може бути пов'язане з покращенням якості води, змінами у джерелах забруднення або впровадженням заходів щодо контролю якості води. Коливання можуть бути спричинені сезонними або антропогенними чинниками (зміни у стоках, промислові впливи, гідрологічні умови). Останнє зростання концентрації після 2021 року може

сигналізувати про зміну умов у водному об'єкті (наприклад, посилення антропогенного впливу).

Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.39.

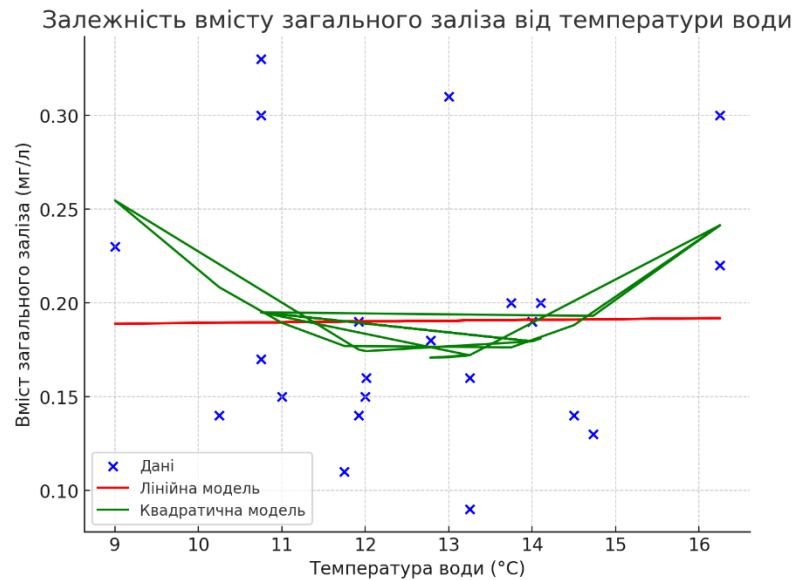


Рис. 4.39. Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Лінійна модель  $y=0,0004x+0,1853$ ,  $R^2=0,0001$  має дуже низьку точність і майже немає зв'язку. Квадратична модель  $y=0,0059 \cdot x^2 - 0,1499 \cdot x + 1,1289$  має кращу відповідність, але все одно слабку точність. Отже, лінійна модель практично не пояснює варіацію вмісту заліза, що видно з дуже низького  $R^2$ . Квадратична модель має кращу відповідність, що може свідчити про нелінійну залежність, але рівень пояснення також залишається низьким. Існує досить висока ймовірність того, що на вміст заліза впливають інші чинники, які слід враховувати, наприклад, хімічний склад води, біологічні процеси, джерела забруднення тощо.

Рис. 4.40 демонструє динаміку загального заліза у пункті спостережень с. Ковалівка.

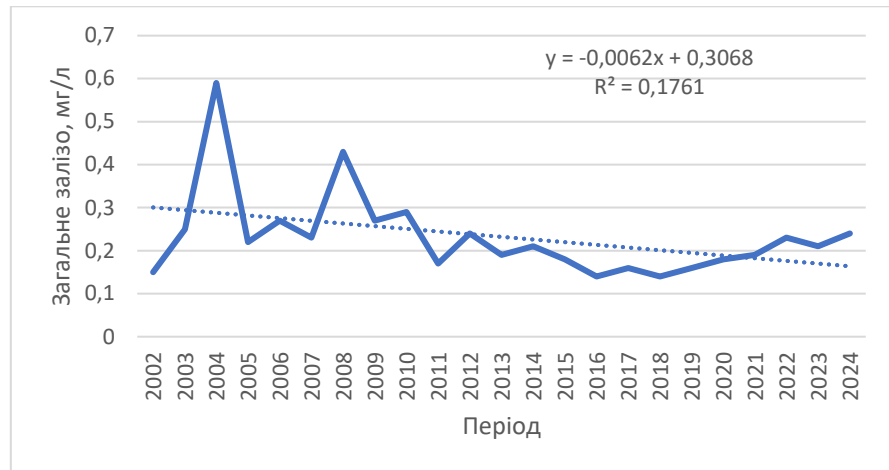


Рис. 4.40. Динаміка загального заліза у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Аналогічно попередньому аналізу (рис. 4.37), поліноміальний тренд рис. 4.40 показує слабку низхідну тенденцію концентрації загального заліза. Рівняння тренду  $y = -0,0062x + 0,3068$  свідчить про незначне зниження концентрації ( $\sim 0,0062$  мг/л щороку). Також низький коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,1761$  вказує на слабку відповідність трендової лінії реальним змінам у даних, що означає, що зміни концентрації заліза мають значний розкид і піддаються впливу інших чинників. Загальна тенденція зниження концентрації загального заліза може бути пов'язане з покращенням якості води, змінами у джерелах забруднення. Деякі незначні коливання можуть бути спричинені сезонними або антропогенними чинниками.

Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис. 4.41.

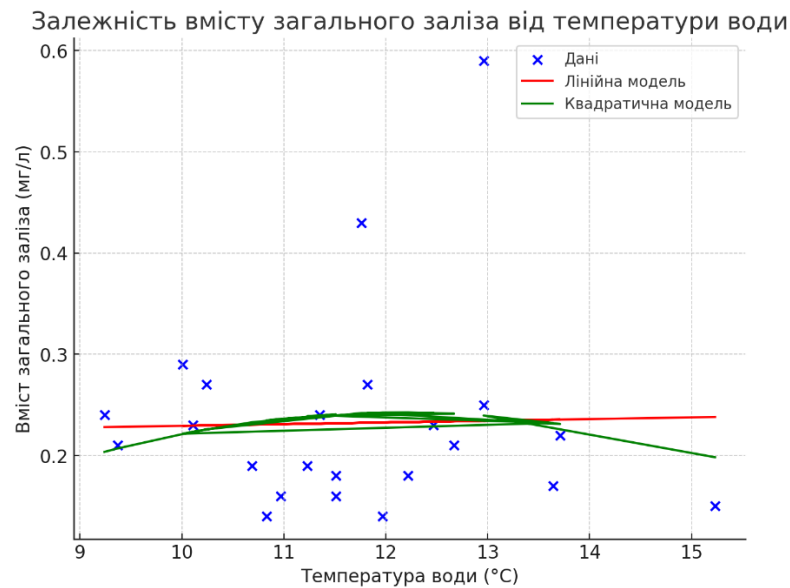


Рис. 4.41. Моделі залежності загального заліза від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Рівняння моделі  $y=0,0017x+0,2127$ ,  $R^2=0,0006$  означає, що лінійна модель майже не пояснює варіацію вмісту заліза за температурою. Квадратична модель  $y=-0,0046x^2+0,1127x-0,4414$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,0171$  трохи вище, ніж у лінійної моделі, але все одно дуже низьке, що свідчить про слабку залежність. Лінійна модель має майже горизонтальну пряму, що означає відсутність явного тренду. Вміст заліза змінюється незалежно від температури. Високий розкид даних свідчить, що інші фактори (наприклад, рН, вміст органіки, швидкість течії) можуть сильніше впливати на концентрацію заліза, ніж температура. Отже, ні лінійна, ні квадратична модель не дають надійної залежності між температурою і вмістом заліза.

Динаміку зміни вмісту загального заліза у пунктах спостережень 1, 2, 3 подано на рис. 4.42.

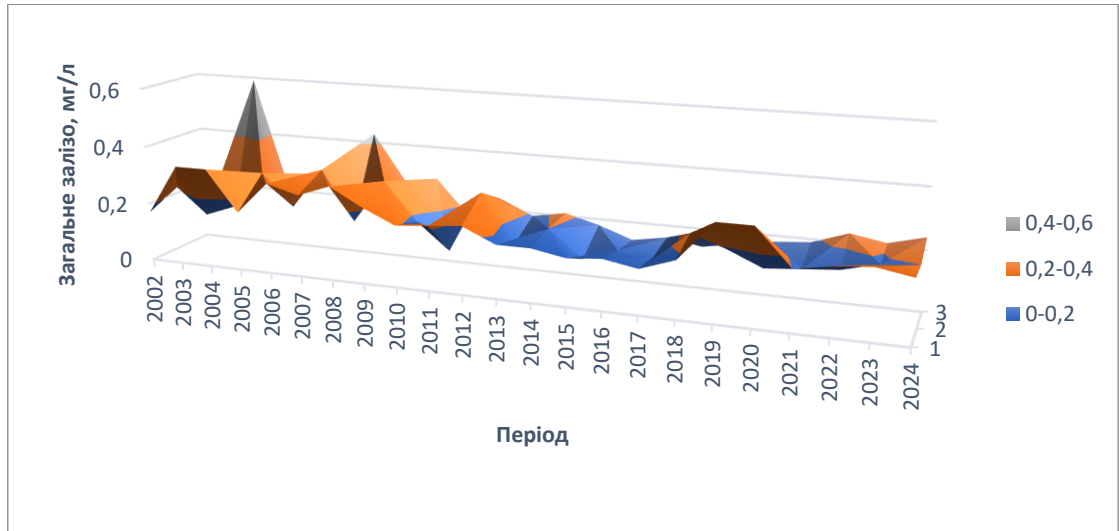


Рис. 4.42. Динаміка зміни загального заліза у пунктах спостережень 1, 2, 3.

З 2002 по 2007 рік спостерігається період високої концентрації загального заліза, з піковими значеннями у 2005–2006 роках (до 0,6 мг/л). Після 2007 року спостерігається загальна тенденція до зниження вмісту заліза, хоча є окремі короткочасні підвищення. Високі концентрації (0,4–0,6 мг/л) фіксуються переважно у 2005–2006 роках, що може бути пов'язано з інтенсивними антропогенними впливами (промислові скиди, зміни гідрологічного режиму) або природними чинниками (ерозія). Середній рівень (0,2–0,4 мг/л) домінує у період 2003–2013 років, свідчачи про поступове покращення якості води. Низький рівень (0,0–0,2 мг/л) спостерігається здебільшого після 2013 року, що свідчить про покращення екологічної ситуації. В 2017–2024 роках вміст заліза залишається на відносно низькому рівні (0,0–0,2 мг/л), з періодичними незначними підвищеннями у 2018–2019 та 2023 роках. У найближчий до гирла частині річки загальний вміст заліза зазнав значного зниження після 2007 року. Після 2013 року рівень заліза залишався переважно в межах 0,0–0,2 мг/л, що може свідчити про стабілізацію гідрохімічних умов. Ймовірними факторами зміни можуть бути природні процеси (зменшення ерозії), зменшення промислових скидів.

#### 4.6. Дослідження зміни показників сульфатів і нітратів.

Наступними індикаторами якості поверхневих вод були нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ), які є важливими інтегрованими показниками якості поверхневих вод, оскільки відображають рівень евтрофікації та забруднення вод сільськогосподарськими та побутовими стоками. Сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) є показниками мінералізації води та можуть надходити у водні об'єкти з природних (вивітрювання гірських порід) і антропогенних джерел (промислові та шахтні стоки). Їхні високі концентрації впливають на смакові якості води та можуть спричиняти вторинне забруднення через сульфатвідновлювальні процеси.

На рис. 4.43 показано динаміку вмісту нітратів і сульфатів у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

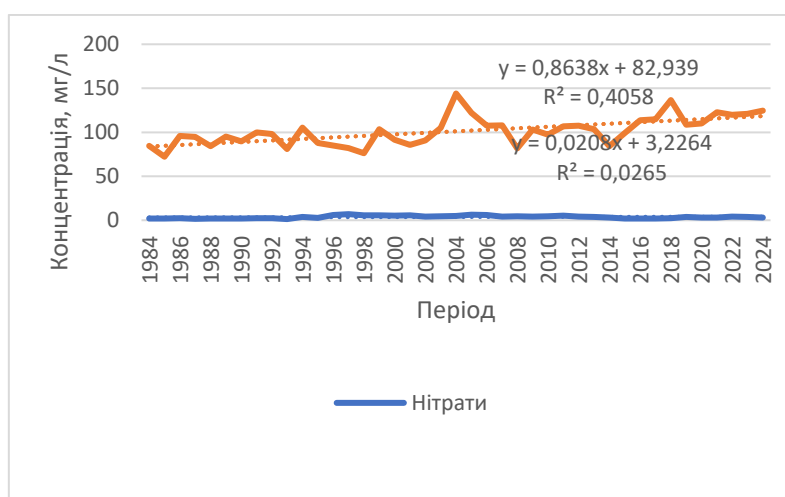


Рис. 4.43. Динаміка сульфатів і нітратів у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Аналіз трендів нітратів і сульфатів у поверхневих водах, згідно графіків рис. 4.43 свідчить, що концентрація нітратів залишається стабільною впродовж аналізованого періоду і значно нижча за гранично допустиму концентрацію (ГДК = 45 мг/л). До того, лінійне рівняння тренду  $y=0,0208x+3,2264$  вказує про повільне зростання концентрації (~0,02 мг/л за рік), а значення коефіцієнта детермінації  $R^2=0,0265$  дуже низьке, що вказує на слабкий зв'язок між часом і концентрацією нітратів, тобто їх рівень практично

незмінний. Концентрація сульфатів значно нижча за ГДК (500 мг/л); спостерігається помітне коливання значень, зокрема різкий пік на початку 2000-х років (~140 мг/л). Лінійне рівняння тренду  $y=0,8638x + 82,939$  вказує на стійке зростання (~0,86 мг/л за рік), а коефіцієнт детермінації  $R^2=0,4058$  вказує на помірний рівень відповідності лінійної моделі реальним даним, що свідчить про поступове зростання концентрації сульфатів з часом.

Отже, вміст нітратів залишаються стабільними та безпечними щодо ГДК; концентрації сульфатів демонструють зростаючу тенденцію, що може свідчити про вплив антропогенних чинників (промислові або сільськогосподарські стоки). Загалом, тренд сульфатів має вищу передбачуваність, ніж тренд нітратів.

Моделі залежності сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська) подано на рис. 4.44.

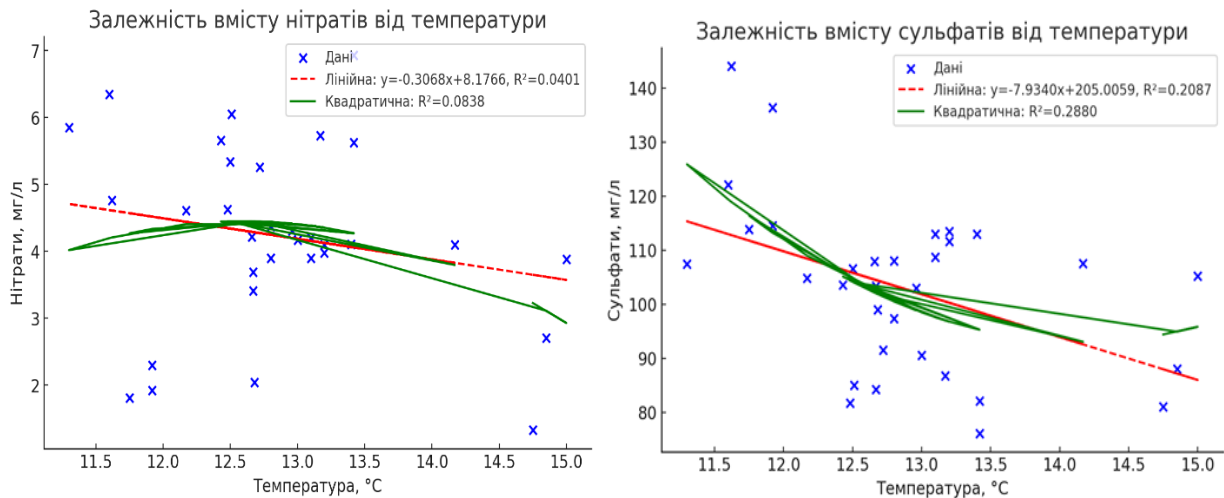


Рис. 4.44. Моделі залежності вмісту сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень с. Новогригорівка (нижче м. Вознесенська).

Лінійна регресія з рівняннями  $y=-0,3068x+8,1766$  (нітрати) і  $y=-7,9340x+205,0059$

Коефіцієнт  $-0,3068$  означає, що при збільшенні температури на  $1^{\circ}\text{C}$  вміст нітратів в середньому зменшується на  $0,3068$  мг/л, а коефіцієнт  $-7,9340$

означає, що при збільшенні температури на 1°C вміст сульфатів в середньому зменшується на  $-7,9340$  мг/л.

Коефіцієнти детермінації  $R^2=0,0401$  (нітрати) і  $R^2=0,2087$  (сульфати) вказують на дуже слабку залежність. Лише 4% змін нітратів і 21% змін сульфатів можна пояснити змінами температури.

Для квадратичної регресії коефіцієнти детермінації  $R^2=0,0838$  і  $R^2=0,2880$  для нітратів і сульфатів відповідно також вказують на слабку залежність.

Рівняння квадратичної регресії для нітратів  $y=-0,2616x^2+6,5852x-36,9920$  описує параболу. Коефіцієнт при  $-0,2661$  є від'ємним, що означає, що парабола спрямована вниз, що відповідає спостережуваній тенденції на графіку, де вміст нітратів спочатку зростає, а потім зменшується з підвищенням температури. Рівняння показує, що існує оптимальна температура, при якій вміст нітратів досягає максимуму.

Рівняння квадратичної регресії для сульфатів  $y=-3,9944x^2+113,773x+894,7461$  також описує параболу. Коефіцієнт при  $-3,9944$  є від'ємним, що означає, що парабола спрямована вниз, що також відповідає спостережуваній тенденції, де вміст сульфатів спочатку зменшується, а потім збільшується з підвищенням температури.

Загалом, обидві моделі (лінійна та квадратична) мають низькі значення  $R^2$ , що свідчить про слабку залежність між температурою та вмістом нітратів, що означає на, що на вміст нітратів і сульфатів, ймовірно, впливають інші чинники, окрім температури.

На рис. 4.45 показано динаміку вмісту нітратів і сульфатів у пункті спостережень с. Ковалівка. Динаміка сульфатів відповідає рівнянню лінійного тренду  $y=2,4397x+89,268$  (коефіцієнт детермінації  $R^2=0,4038$  вказує на середню кореляцію між часом та вмістом сульфатів. Це означає, що зміни за період пояснюють приблизно 40,38% варіації концентрації сульфатів.). Висхідний тренд свідчить про поступове збільшення концентрації сульфатів у

поверхневих водах із часом. Динаміка нітратів відповідає рівнянню лінійного тренду  $y = -0,0649x + 2,3841$  (коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,3715$  свідчить про слабку залежність від часу; лише 37,15% змін у концентрації пояснюються часом). Тренд показує незначне зниження концентрації нітратів із часом.

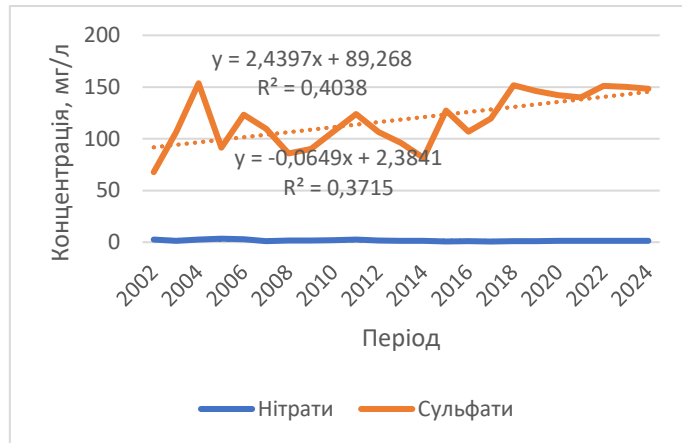


Рис. 4.45. Динаміка сульфатів і нітратів у пункті спостережень с. Ковалівка.

Отже, концентрація сульфатів має виражену тенденцію до зростання, що може бути наслідком антропогенного впливу (промислові або побутові скиди, зміни гідрологічного режиму). Концентрація нітратів має тенденцію до повільного зниження, але зміни незначні.

Моделі залежності сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка подано на рис. 4.46.

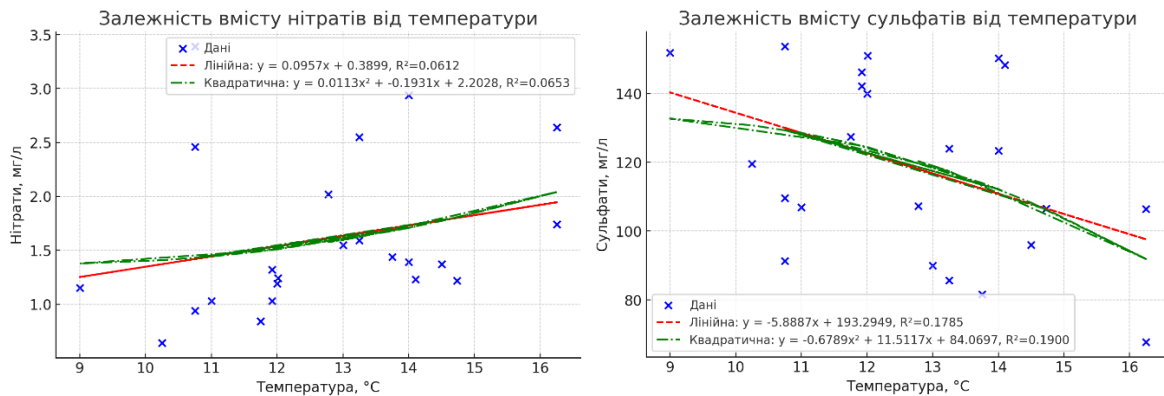


Рис. 4.46. Моделі залежності сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень с. Ковалівка.

Лінійна регресія для нітратів відповідає рівнянню  $y = 0,0957x + 0,3899$  з коефіцієнтом нахилу 0,0957. Це додатне значення, що свідчить про слабку пряму залежність між температурою та вмістом нітратів, тобто, зі збільшенням температури вміст нітратів трохи зростає. Зсув 0,3899 означає, що при температурі 0°C вміст нітратів становить приблизно 0,39 мг/л. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,0612$  має дуже низьке значення, що свідчить про те, що лінійна модель дуже погано описує дані, лише 6,12% варіації вмісту нітратів пояснюється зміною температури.

Квадратична поліноміальна регресія для нітратів відповідає рівнянню  $y = 0,0113x^2 - 0,1931x + 2,2028$  з коефіцієнтом нахилу 0,0113, що свідчить про параболу з мінімумом. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,0653$  трохи вище, ніж для лінійної моделі, проте пояснює лише 6,53% варіації вмісту нітратів. Отже, обидві моделі мають дуже низькі значення  $R^2$ , що означає, що жодна з моделей не може адекватно описати залежність між температурою та вмістом нітратів і на вміст нітратів впливають інші чинники.

Лінійна регресія для сульфатів відповідає рівнянню  $y = -5,8887x + 193,2949$  з коефіцієнтом нахилу  $-5,8887$  (від'ємне значення свідчить про слабку обернену залежність між температурою та вмістом сульфатів, тобто, зі збільшенням температури вміст сульфатів трохи зменшується); зсув 193,2949 показує, що при температурі 0°C вміст сульфатів становить приблизно 193,29 мг/л. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,1785$  має дуже низьке значення, що свідчить про те, що лінійна модель погано описує дані (лише 17,85% варіації вмісту сульфатів пояснюється зміною температури).

Квадратична поліноміальна регресія для сульфатів має рівняння  $y = -0,6789x^2 + 11,5117x + 84,0697$  з коефіцієнтом  $-0,6789$ , що свідчить про параболу з максимумом. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,1900$  трохи вищий, ніж для лінійної моделі і пояснює лише 19% варіації вмісту сульфатів.

Отже, обидві моделі показують дуже слабку залежність і свідчать про те, що на вміст сульфатів впливають інші чинники.

На рис. 4.47 показано динаміку вмісту нітратів і сульфатів у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ). Тренд для сульфатів відповідає рівнянню  $y=9,1056x + 336,35$  з коефіцієнт детермінації  $R^2=0,4694$ . Сульфати демонструють зростаючий тренд із середньою швидкістю збільшення 9,1 мг/л на рік. Середнє  $R^2=0,4694$  свідчить про те, що модель пояснює лише 46,94% варіації вмісту сульфатів. У 2004 році спостерігається різкий спад концентрації, що може бути наслідком природних чи антропогенних впливів.

Тренд для нітратів відповідає лінійному рівнянню  $y=-1,8744x+42,503$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,2005$ . Нітрати мають негативний тренд із середньою швидкістю зниження 1,87 мг/л на рік. Дуже низьке  $R^2=0,2005$  означає, що лише 20,05% змін концентрації нітратів пояснюється цією моделлю. У 2011–2012 роках спостерігається значне падіння концентрації нітратів, що може бути пов'язано з покращенням методів очищення води або іншими екологічними заходами.

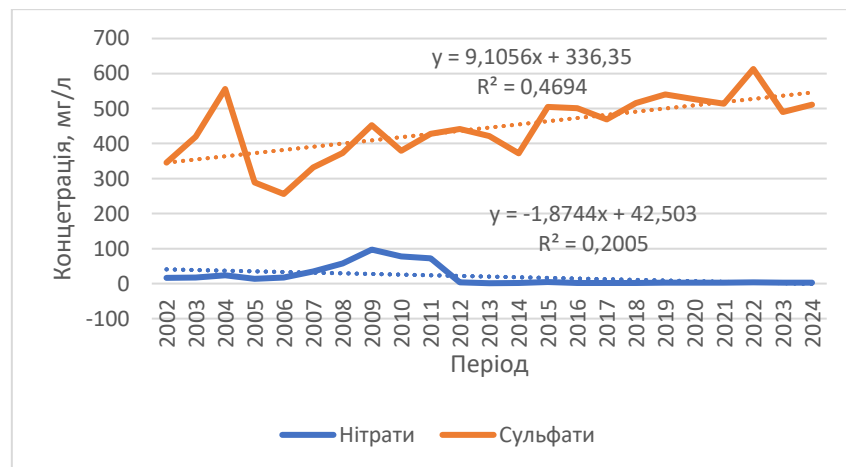


Рис. 4.47. Динаміка сульфатів і нітратів у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

Отже, концентрація сульфатів має тенденцію до зростання, що може бути пов'язано з промисловими викидами або природними процесами (ерозія ґрунтів, розчинення мінералів; концентрація нітратів поступово знижується,

що може свідчити про ефективні заходи зменшення забруднення азотними сполуками або зміну у використанні добрив.

Моделі залежності сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ) подано на рис. 4.48.

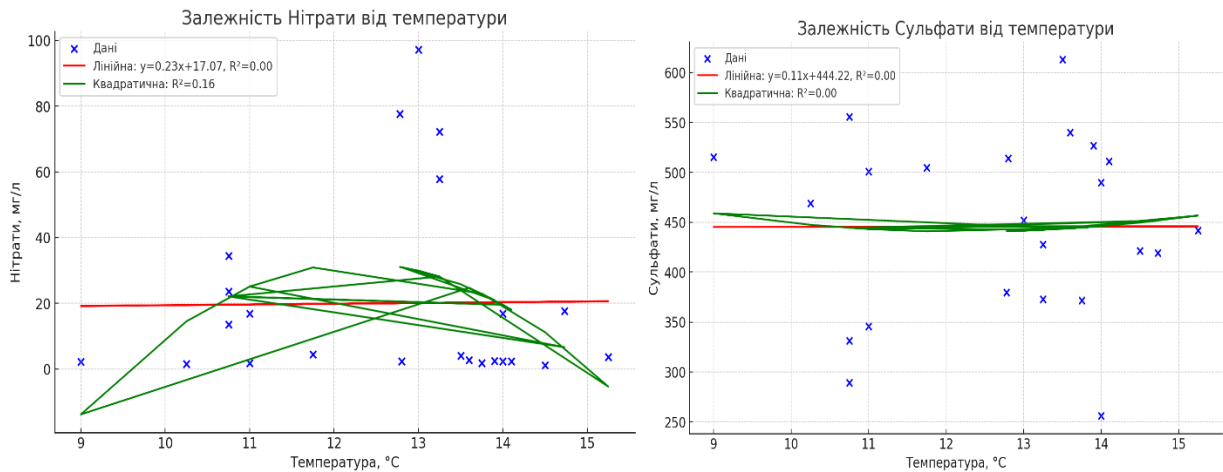


Рис. 4.48. Моделі залежності сульфатів і нітратів від температури води у пункті спостережень м. Миколаїв (район ТЕЦ).

На графіку моделі залежності нітратів видно, що точки розкидані дуже хаотично, і немає чіткої тенденції зростання або спадання вмісту нітратів зі збільшенням температури. Лінійна регресія відповідає рівнянню  $y=0,23x+17,07$  з коефіцієнт нахилу 0,23, що свідчить про майже відсутність лінійної залежності між температурою та вмістом нітратів. Зсув 17,07 показує, що при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  вміст нітратів становить приблизно 17,07 мг/л. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,00$  показує, що лінійна модель зовсім не описує дані. Варіація вмісту нітратів не пояснюється зміною температури. Квадратична модель відповідає рівнянню  $y=-4,2603x^2+104,6638x-610,7244$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,16$ , що вказує на слабку відповідність моделі до даних. Отже, обидві моделі показують дуже слабку залежність.

На графіку моделі залежності сульфатів від температури видно, що точки розкидані досить хаотично, і немає чіткої тенденції зростання або

спадання вмісту сульфатів зі збільшенням температури. Лінійна регресія відповідає рівнянню  $y=0,11x+444,22$  з коефіцієнт нахилу 0,11, що свідчить про майже відсутність лінійної залежності між температурою та вмістом сульфатів. Зсув 444,22 показує, що при температурі 0°C вміст сульфатів становить приблизно 444,22 мг/л. Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,00$  показує, що варіація вмісту сульфатів не пояснюється зміною температури. Аналіз квадратичної поліноміальної регресії  $y=1,7731x^2-43,3532x+705,4984$  з коефіцієнт детермінації  $R^2=0,00$  також показує, що варіація вмісту сульфатів не пояснюється зміною температури.

Динаміку зміни вмісту сульфатів та нітратів у пунктах спостережень 1, 2, 3 подано на рис. 4.49.

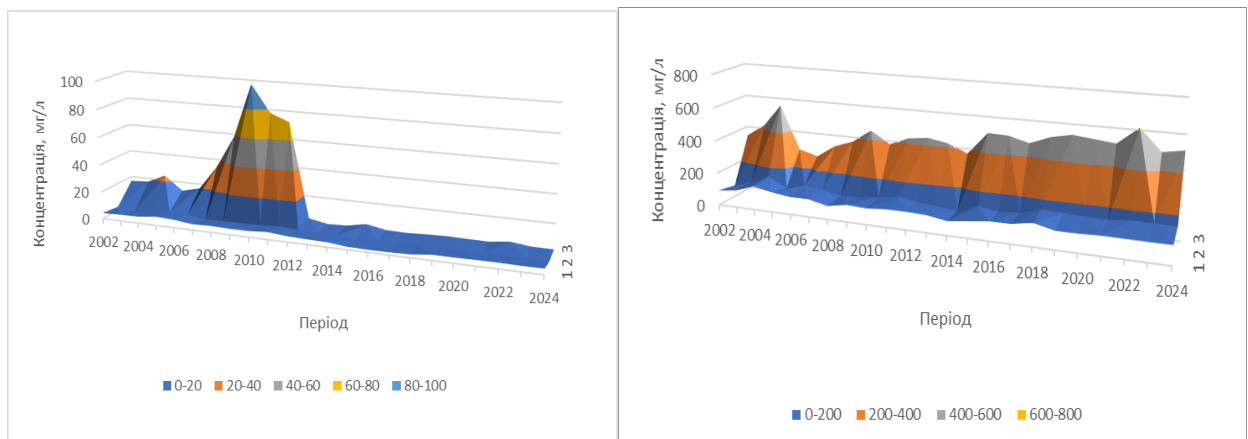


Рис. 4.49. Динаміка зміни сульфатів і нітратів у пунктах спостережень 1, 2, 3.

Діаграма нітратів показує різкий пік концентрації нітратів у період з 2010 по 2012 рік лише в пункті 3. У пунктах 1 та 2 концентрація нітратів залишається відносно низькою упродовж всього періоду спостереження. Пік концентрації нітратів в пункті 3 є дуже високим, досягаючи значень, що значно перевищують 80 мг/л. Зважаючи на те, що пункт 3 найближчий до гирла, можна припустити, що джерело забруднення знаходиться безпосередньо біля гирла або в нижній течії. У період піку (2010–2012 роки) концентрація нітратів значно перевищує ГДК (45 мг/л) лише в пункті 3, що

також свідчить про серйозне локальне забруднення води нітратами в цей період. Різкий пік концентрації нітратів у пункті 3 може бути спричинений локальними скидами, а також вимиванням нітратів з локального джерела забруднення, наприклад, звалища або сільськогосподарських угідь.

Діаграма динаміки сульфатів показує відносно стабільний рівень концентрації сульфатів упродовж усього періоду спостереження. У пункті 1 – найнижчі та найбільш стабільні значення концентрації сульфатів; у пунктах 2 і 3 – більш виражені коливання, особливо в період з 2004 по 2008 рік і з 2022 по 2024 рік. Пункт 3, найближчий до гирла та розташований в акваторії міста, демонструє найвищі значення концентрації сульфатів у межах ГДК. Зважаючи на те, що пункт 3 найближчий до гирла та розташований в акваторії міста, можна припустити, що джерело забруднення сульфатами пов'язане з міською діяльністю, можливо, це скидання стоків, а також вплив атмосферних опадів, які змивають сульфати з міських територій, змішування з морськими водами тощо.

Отже, динаміка вмісту нітратів свідчить про локальне забруднення, тоді як динаміка сульфатів показує вплив антропогенної діяльності. Температура води не є основним чинником, що визначає вміст нітратів та сульфатів. Для більш точного прогнозування концентрації нітратів та сульфатів, потрібно проаналізувати всі фактори, що впливають на їх концентрацію, та створити комплексну математичну модель.

#### **4.7. Узагальнення та систематизація досліджень залежності інтегрованих гідрохімічних показників від температури води.**

Узагальнюючи результати аналізу зміни інтегрованих показників в часі і просторі, визначено, що упродовж досліджуваного періоду спостережень, а це понад 40 років, мають місце такі закономірності:

- вміст розчинного кисню помітно зменшується із коефіцієнтами детермінації 38%, 30%, 61% у відповідних пунктах спостережень 1, 2, 3;

- показник БСК<sub>5</sub> помітно зменшується з коефіцієнтом детермінації 42% у пункті 1; проте у пунктах 2 і 3 відбувається помітне збільшення значень БСК<sub>5</sub>;
- показник рН не має чітко вираженої тенденції до змін і, фактично, залишається в одному діапазоні;
- показник мінералізації має сталу тенденцію до зростання з коефіцієнтами детермінації 38%, 58% і 67% у відповідних пунктах спостережень 1, 2 і 3;
- показник твердості не має чітко вираженої тенденції до змін у пункті 1; проте у пунктах 2 і 3 має чітко виражену тенденцію до зростання з коефіцієнтами 60% і 68%;
- вміст загального заліза по всіх пунктах спостережень демонструє закономірність до поступового повільного зменшення з коефіцієнтами 28%, 7%, 18% у відповідних пунктах спостережень 1, 2 і 3;
- вміст сульфатів демонструє чітку закономірність до поступового зростання з коефіцієнтами 41%, 40%, 47% у відповідних пунктах спостережень 1, 2 і 3;
- показник нітратів не має чіткої закономірності у пункті 1, проте у точках 2 і 3 має тенденцію до зменшення з коефіцієнтами 37% і 20% відповідно.

Математичні моделі лінійних залежностей інтегрованих показників від температури води показали слабкі закономірності, на відміну поліноміальних квадратичних закономірностей. Так, у табл. 4.1. показано узагальнені значення залежності обраних інтегрованих показників від температури поверхневих вод.

Дані таблиці 4.1 дозволяють стверджувати, що температура поверхневих вод, як один з індикаторів змін клімату, має різний характер впливу на гідрохімічні інтегровані показники. Найбільш залежними від температури є показники розчиненого кисню (30%) та БСК<sub>5</sub> (33%). Середній рівень

залежності від температури мають показники твердості (27%), рН (16%), мінералізації (13%) та сульфатів (16%). Найменш залежними від температури є показники заліза загального (2%) та нітратів (10%). Це свідчить про те, що зміни температури мало впливають на означені показники.

Таблиця 4.1

Залежність інтегрованих показників від температури поверхневих вод

№/п	Показник	Середній коефіцієнт детермінації залежності від температури, %
1.	Розчинний кисень	30
2.	БСК <sub>5</sub>	33
3.	рН	16
4.	Мінералізація	13
5.	Твердість	27
6.	Залізо загальне	2
7.	Сульфати	16
8.	Нітрати	10

Отже, на основі наведених даних можна зробити висновок, що температура поверхневих вод може бути використана для прогнозування змін розчинного кисню та БСК<sub>5</sub> з обмеженою точністю 30%. Для інших показників необхідні додаткові фактори та складніші моделі прогнозування.

У наступному розділі вивчаємо вплив атмосферних опадів на якість поверхневих вод із використанням моделей для кількісної оцінки ролі цього чинника.

### Висновки до четвертого розділу

Для дослідження впливу кліматичних чинників на стан поверхневих вод було обрано основні інтегровані гідрохімічні показники якості поверхневих вод, які відповідали таким критеріям: чутливість до кліматичних змін; здатність демонструвати сезонні та річні коливання; відбиття їх змін у гідрологічному циклі; забезпечення повної оцінки екологічного стану;

практичне значення для управління водними ресурсами. Для дослідження стану поверхневих вод було обрано вісім гідрохімічних показників (розчинний кисень; БСК; мінералізація; рН; загальне залізо; твердість; сульфати, нітрати), чотири з яких (рН, БСК, мінералізація, твердість) належать до інтегрованих.

Вибір пунктів спостережень у межах міста Миколаєва і Миколаївської області обмовлений такими критеріями: репрезентативність; просторове охоплення; антропогенний вплив; гідродинамічні умови; біологічна різноманітність; доступність та безпека; наявність історії досліджень.

Аналіз динаміки гідрохімічних показників поверхневих вод виявив чіткі тенденції, а саме: для  $O_2$  спостерігається поступове зниження у всіх пунктах спостережень; для БСК<sub>5</sub> відзначено зниження у період 1980–2020 років, але після 2020 року спостерігається зворотний тренд, що вказує на можливий вплив антропогенних або природних чинників; для мінералізації показано, що її підвищення відбувається під впливом випаровування та зменшення стоку; для рН відзначаються зміни через кліматичні чинники, такі як зменшення стоку та зміни вуглекислотного балансу, при цьому високий вміст  $CO_2$  знижує рН; концентрації нітратів коливаються, особливо після паводків та значних опадів, що відображає зміни у режимі опадів; підвищення концентрації сульфатів пов'язане з ерозією ґрунтів та змивом з сільськогосподарських/промислових територій, а також зростанням випаровування; для загального заліза концентрація зростає внаслідок збільшення опадів або поверхневого стоку; зростання твердості відбувається через підвищене випаровування (що збільшує концентрацію кальцію та магнію) та зменшення стоку під час посух.

Визначено, що температура поверхневих вод, як один з індикаторів змін клімату, має різний характер впливу на гідрохімічні інтегровані показники. Лінійні моделі показали слабкі закономірності, тоді як поліноміальні квадратичні закономірності краще описують нелінійну природу залежності.

Для розчинного кисню середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 30%. Для БСК<sub>5</sub> середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 33%. Середній коефіцієнт детермінації залежності рН від температури становить 16%. Для мінералізації середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 13%. Середній коефіцієнт детермінації залежності твердості від температури становить 27%. Середній коефіцієнт детермінації загального заліза залежності від температури становить 2%. Для сульфатів середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 16%, тоді як для нітратів середній коефіцієнт детермінації залежності від температури становить 10%.

Найбільш залежними від температури є показники розчиненого кисню (30%) та БСК<sub>5</sub> (33%). Середній рівень залежності мають твердість (27%), рН (16%), мінералізація (13%) та сульфати (16%). Найменш залежними від температури є показники загального заліза (2%) та нітратів (10%). Зміни температури мало впливають на означені показники.

## РОЗДІЛ 5

### ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ГІДРОЕКОСИСТЕМИ ПІВДЕННОГО БУГУ У МЕЖАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

#### 5.1. Влив кількості опадів на рівень розчинного кисню і БСК<sub>5</sub>.

Вивчаючи вплив кількості опадів на рівень розчинного кисню (DO) і БСК<sub>5</sub> у поверхневих водах, висуваємо робочу гіпотезу, що ця дія може бути досить значною, залежно від інтенсивності та частоти опадів, характеристик водного об'єкта і прилеглої території. Під час дощів відбувається розбавлення води, що може тимчасово збільшити вміст кисню, особливо в малих водотоках. Сильні опади сприяють змішуванню водних мас і аерації, що також може збільшити DO. Дощові води змивають з ґрунту, асфальту, сільськогосподарських угідь органіку, що може збільшити споживання кисню мікроорганізмами, тим самим знижуючи його рівень. У великих водоймах рясні опади можуть змінювати термоклин, сприяючи вертикальному перемішуванню і тимчасовому підвищенню або зниженню DO в різних шарах.

Опади можуть підвищувати БСК<sub>5</sub> через надходження у воду органічних речовин із ґрунтів, лісів, полів та міських територій. Якщо дощі змивають у водойму азотні та фосфорні сполуки, це сприяє росту фітопланктону. Після його відмирання збільшується органічне навантаження, що веде до зростання БСК<sub>5</sub>. У міських районах сильні опади можуть перевантажувати каналізаційні системи, спричиняючи скиди недостатньо очищених вод, що також підвищує БСК<sub>5</sub>. При надходженні великої кількості опадів може змінюватися швидкість біохімічних процесів у воді, що впливає на БСК<sub>5</sub>.

Отже, припускаємо, що помірні опади можуть покращити якість води, зменшуючи концентрацію забруднень; сильні зливи часто спричиняють зменшення DO і збільшення БСК<sub>5</sub> через надходження великої кількості

органічних речовин та забруднень; у річках вплив опадів може бути короткотривалим.

На рис. 5.1. подано моделі залежності розчинного кисню від кількості опадів. Лінійна модель описується рівнянням:  $y = -0,00125x + 11,97$  ( $R^2 = 0,0074$ ); квадратична:  $y = -1,19 \times 10^{-5}x^2 + 0,0102x + 9,39$  ( $R^2 = 0,017$ ); експоненційна:  $y = 559,47 \times e^{-2,23 \times 10^{-6}x} - 547,50$  ( $R^2 = 0,0074$ ); логарифмічна:  $y = -0,4973 \ln(x) + 14,44$  ( $R^2 = 0,0056$ ). Найкращий коефіцієнт детермінації має квадратична модель ( $R^2 = 0,0172$ ), хоча всі моделі погано описують залежність.

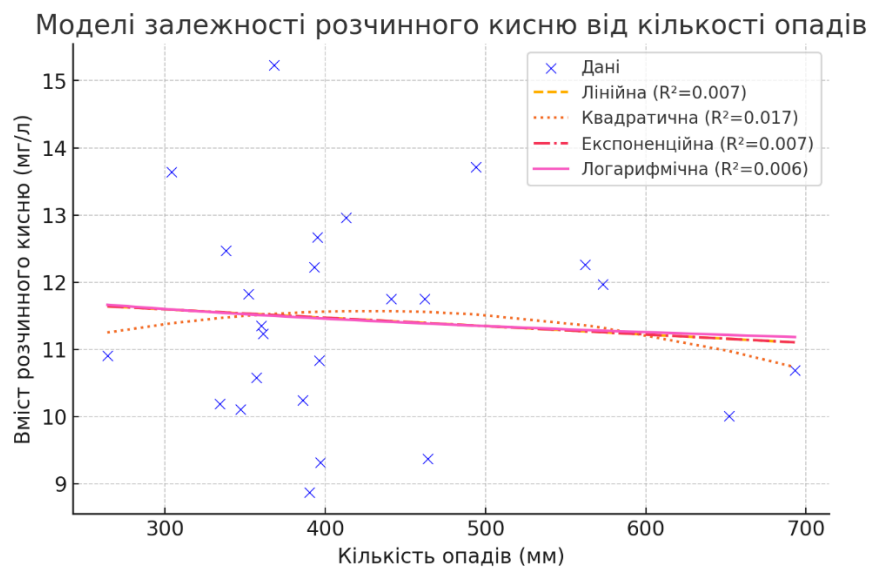


Рис. 5.1. Моделі залежності розчинного кисню від кількості опадів.

Квадратична модель демонструє, що лише 1,72% змін розчинного кисню можна пояснити змінами у кількості опадів. Решта варіацій обумовлена іншими чинниками або випадковими флуктуаціями. Такий низький свідчить про слабку залежність між цими двома змінними. Хоча опади можуть впливати на концентрацію кисню, їхній прямий вплив часто маскується іншими чинниками, а саме:

1. Високі температури знижують розчинність кисню у воді. Якщо опади приносять теплу воду або відбуваються в теплий період, це може зменшувати концентрацію кисню.

2. Дощі можуть підвищувати рівень води і швидкість течії, що посилює насичення киснем за рахунок турбулентного змішування. Навпаки, великі дощі можуть зменшити рівень кисню, якщо вони приносять багато органіки, яка швидко споживає  $O_2$ .

3. Опади можуть змивати забрудники (органічні речовини, добрива, стічні води). Це знижує концентрацію розчинного кисню. Високий рівень нітрогену і фосфору з поверхневого стоку стимулює цвітіння водоростей, що може призводити до дефіциту кисню (ефект евтрофікації).

4. Вплив опадів на кисень може змінюватися залежно від атмосферного тиску. Наприклад, при зниженому тиску газообмін з повітрям погіршується. Сильний вітер при дощах сприяє аерації води, що може компенсувати зниження кисню від стоку органіки.

5. У глибоких водоймах сильні опади можуть змішувати шари води, що змінює кисневий баланс. У мілководних ділянках з низьким обміном води опади можуть створювати тимчасові "мертві зони", особливо при високому органічному забрудненні.

6. Взимку або ранньою весною, коли вода насичена киснем, опади можуть мати мінімальний вплив, проте, влітку, коли рівень кисню вже низький через високу біологічну активність, навіть незначні зміни можуть спричинити суттєві екологічні наслідки.

Отже, низький  $R^2$  показує, що опади, як показник кліматичних змін не має впливу на вміст розчинного кисню. Гідроекосистема здатна нівелювати дію цього чинника за рахунок процесів саморегуляції та зворотної дії інших факторів, які було описано вище.

На рис. 5.2 подано моделі залежності БСК<sub>5</sub> від кількості опадів. Лінійна модель характеризується рівнянням  $y = 0,0009x + 3,5028$ ; квадратична модель  $y = 0,000004x^2 - 0,0033x + 4,4691$ ; логарифмічна модель  $y = 0,3705 \cdot \ln(x) + 1,6551$ ; експоненційна модель  $y = e^{(0,0001x + 1,2833)}$ .

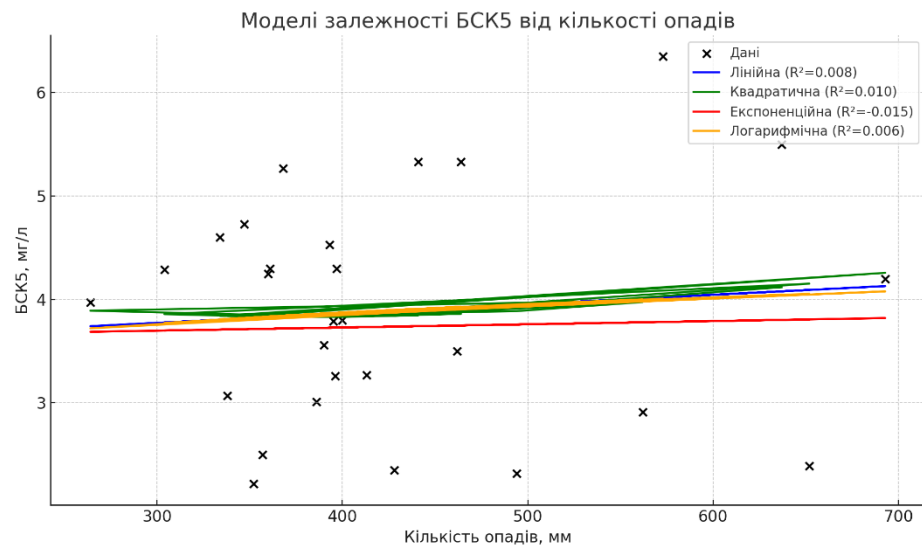


Рис. 5.2. Моделі залежності БСК<sub>5</sub> від кількості опадів.

Графік рис. 5.2 відбиває розкид експериментальних даних та чотири різні типи регресійних моделей, що намагаються описати цю залежність. Важливо відзначити, що коефіцієнти детермінації для всіх поданих моделей є дуже низькими (0,008 для лінійної; 0,10 для квадратичної,  $-0,015$  для експоненційної та 0,006 для логарифмічної). Низький  $R^2$  свідчить про те, що жодна з цих моделей не пояснює значної частки дисперсії у значеннях БСК<sub>5</sub> на основі кількості опадів. Іншими словами, кількість опадів як єдиний фактор не є сильним предиктором рівня БСК<sub>5</sub>. Хоча, теоретично, певна залежність між БСК та кількістю опадів може існувати. Опади можуть змивати органічні забруднювачі з поверхні ґрунту та водозбірної території у водні об'єкти, що призводить до збільшення концентрації органічних речовин і, відповідно, до зростання БСК<sub>5</sub>. Однак низькі коефіцієнти детермінації вказують на те, що ця залежність є дуже слабкою і опосередкованою іншими, більш значущими чинниками.

Так, на рівень БСК<sub>5</sub> впливає інші чинники, такі як: промислові та побутові скиди, сільськогосподарська діяльність, температура води, швидкість течії, наявність гідробіонтів. Розрахунок моделей свідчить, що ці фактори значно більше впливають на БСК<sub>5</sub>, ніж кількість опадів.

Отже, хоча теоретично кліматичний чинник, такий як кількість атмосферних опадів може впливати на БСК<sub>5</sub>, проте, представлені моделі на основі практичних результатів не підтверджують цю залежність. Низькі коефіцієнти детермінації свідчать про необхідність врахування інших важливих чинників і використання більш складних моделей для адекватного опису залежності БСК<sub>5</sub> від зовнішніх впливів.

## 5.2. Вплив кількості опадів на рівень рН і мінералізації.

Досліджуючи вплив атмосферних опадів, ми виходили від робочої гіпотези, що кількість атмосферних опадів є важливим чинником, який впливає на значення рН та мінералізацію поверхневих вод. Велика кількість атмосферних опадів може призвести до розбавлення поверхневих вод. Якщо вода в опадах має нейтральний або слабо-кислий рН, це може призвести до підвищення рН у водоймі, якщо до цього він був більш кислим. І навпаки, якщо опади є кислими, вони можуть знизити рН поверхневих вод. Значна кількість опадів може призвести до розбавлення розчинених у поверхневих водах мінеральних солей та інших речовин, що призводить до зниження загальної мінералізації (концентрації розчинених речовин).

На рис. 5.3 подано моделі залежності рН від кількості опадів. Лінійна модель відповідає  $pH = 0,0003 \cdot x + 8,36$ . коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,016$ . Зв'язок дуже слабкий. Така модель не описує суттєвого впливу. Квадратична модель відповідає формулі  $pH = 3,6 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,0001 \cdot x + 8,42$  ( $R^2 = 0,016$ ). Спостерігається легкий "вигин", але крива досі дуже пласка. Наявність квадратичного члена не дає істотного приросту пояснювальної сили моделі. Кубічна модель відповідає формулі  $pH = -7,2 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 0,0001 \cdot x + 8,45$  ( $R^2 = 0,047$ ). Кубічний член дозволяє моделі "вигинатися" в кількох напрямках. Проте, низьке  $R^2$  вказує, що третій ступінь теж не вирішує проблему адекватного опису залежності. Отже, усі моделі мають дуже низьке  $R^2$ , тобто

кількість опадів не є добрим предиктором рН, і на водневий показник можуть більше впливати наявність забруднень, тип ґрунту тощо.

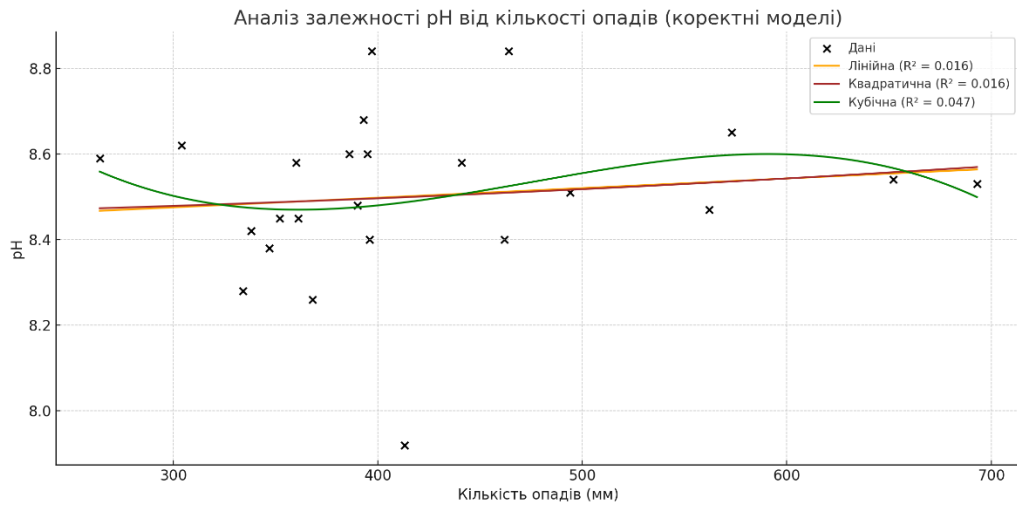


Рис. 5.3. Моделі залежності рН від кількості опадів.

На рис. 5.4 подано моделі залежності мінералізації від кількості опадів. Поліном першого ступеня (лінійна модель) має найнижчий коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,054$ ). Це свідчить про те, що лінійна залежність дуже слабо пояснює зв'язок між кількістю опадів та мінералізацією. Лінія має невеликий від'ємний нахил, що вказує на слабку тенденцію до зменшення мінералізації зі збільшенням кількості опадів. Однак, через низький  $R^2$ , ця тенденція статистично незначуща і лінійна модель погано описує наявні дані. Поліном другого ступеня (квадратична модель) має дещо вищий коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,066$ ) порівняно з лінійною моделлю, але все ще досить низький. Квадратична крива краще відображає деякі вигини в даних, але загалом пояснювальна здатність моделі залишається низькою. Поліном третього ступеня (кубічна модель) показує значно вищий коефіцієнт детермінації ( $R^2=0,100$ ) порівняно з моделями нижчого ступеня. Кубічна крива має більш складну форму і краще прилягає до деяких областей даних, відображаючи потенційні нелінійні закономірності. Однак,  $R^2$  все ще відносно низький, що вказує на те, що значна частина дисперсії мінералізації не пояснюється цією моделлю. Поліном четвертого ступеня (квадратична

модель) має найвищий коефіцієнт детермінації серед усіх розглянутих моделей ( $R^2=0,136$ ). Поліном 4-го ступеня є найбільш гнучким і найкраще візуально відповідає розкиду точок даних, відображаючи більш складні коливання залежності.

Загалом, жодна з поданих моделей не забезпечує високого рівня пояснювальної здатності залежності мінералізації поверхневих вод від кількості опадів. Очевидно, що інші чинники впливають на мінералізацію поверхневих вод, окрім кількості опадів, зокрема, геологічна будова території, антропогенний вплив тощо.

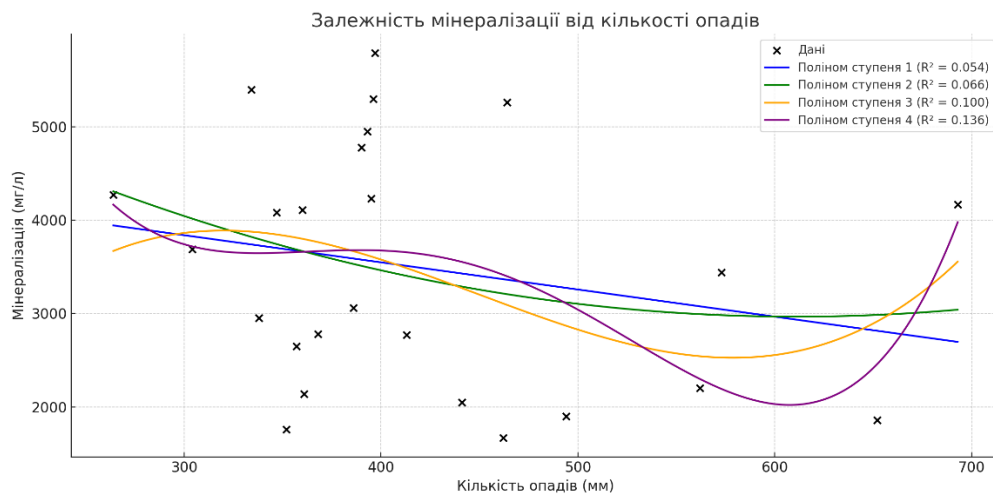


Рис. 5.4. Моделі залежності мінералізації від кількості опадів.

### 5.3. Вплив кількості опадів на рівень твердості води.

Досліджуючи вплив атмосферних опадів на показник твердості води, було висунуто робочу гіпотезу: збільшення кількості атмосферних опадів призводить до зниження загальної твердості поверхневих вод через ефект розбавлення та зменшення концентрації розчинених мінералів, зокрема йонів кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ) та магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), які є основними компонентами твердості води. Атмосферні опади, такі як дощ та сніг, зазвичай мають низьку мінералізацію та, відповідно, низьку твердість.

Пряме потрапляння атмосферних опадів у водні об'єкти призводить до розбавлення існуючої води з вищою концентрацією розчинених солей

твердості. Більша кількість опадів може спричинити збільшення поверхневого стоку. Вода, що стікає з поверхні, може мати менший контакт з ґрунтом та гірськими породами, які є джерелом іонів кальцію та магнію, і тому має нижчу мінералізацію та твердість. Більша кількість опадів може призвести до меншого випаровування з поверхні водних об'єктів. Випаровування концентрує розчинені солі, тому його зменшення може сприяти зниженню твердості. Отже, очікується, що в періоди з більшою кількістю атмосферних опадів спостерігатиметься тенденція до зниження показника загальної твердості поверхневих вод.

Цю робочу гіпотезу було перевірено через аналіз даних про кількість атмосферних опадів та показники твердості води у пункті спостереження 3 упродовж певного періоду часу. На рис. 5.5. подано моделі залежності твердості води від кількості опадів.

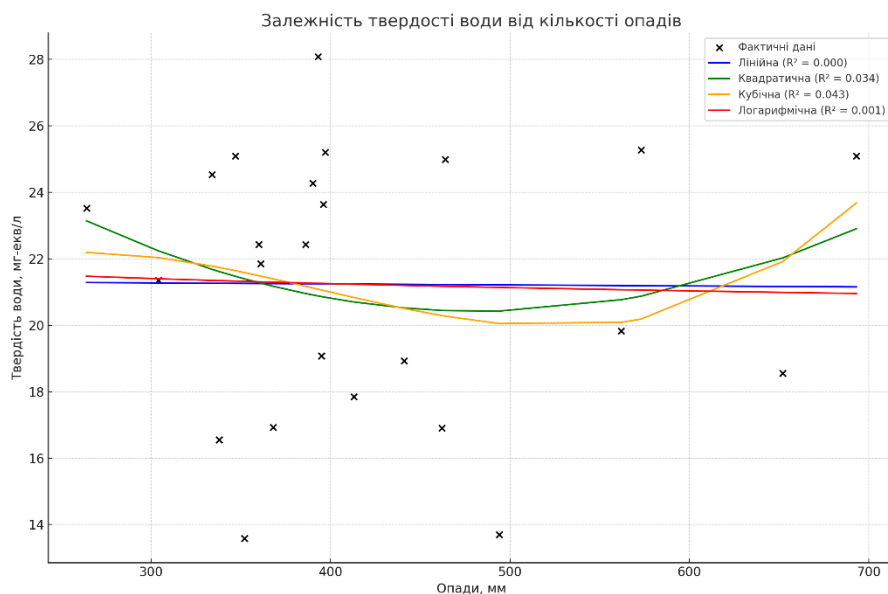


Рис. 5.5. Моделі залежності твердості води від кількості опадів.

Лінійна модель описується рівнянням  $y = -0,0003x + 21,37$  і показує слабку негативну лінійну залежність. Зі збільшенням кількості опадів твердість води дещо зменшується. Проте коефіцієнт детермінації ( $R^2 \approx 0,511$ ) свідчить про обмежену точність моделі. Квадратична модель має вид:

$y=0,000057x^2-0,0547x+33,64$ , що вказує на нелінійний зв'язок (залежність має вигляд параболи).  $R^2\approx 0,693$  значно краща відповідність, ніж у лінійної моделі. Кубічна модель  $y=0,0000002378x^3-0,000281x^2+0,0979x+11,54$  найкраще описує залежність ( $R^2\approx 0,705$ ). Логарифмічна модель  $y = -0,5384\ln(x)+24,48$  демонструє негативну залежність: чим більші опади – тим менша твердість, але у вигляді логарифмічного зниження і придатна для опису лише обмеженого діапазону.  $R^2\approx 0,571$  – краща за лінійну, але гірша за поліноміальні. Отже, кубічна модель найточніше описує наявні дані. Це означає, що взаємозв'язок між опадами та твердістю води не є простим — він має складну нелінійну природу, можливо з кількома піками або мінімумами, що може бути результатом різних екологічних або гідрогеохімічних чинників.

#### **5.4. Вплив кількості опадів на рівень загального заліза.**

Атмосферні опади відіграють значну роль у формуванні хімічного складу поверхневих вод, зокрема впливаючи на концентрацію загального заліза. Існує декілька основних механізмів, через які опади зумовлюють зміни вмісту цього елемента у річках, озерах та водосховищах.

Одним із ключових процесів є вилуговування заліза з ґрунтів водозбірної площі. Дощова вода, просочуючись крізь ґрунтовий покрив, контактує з різноманітними мінеральними сполуками, що містять залізо. Внаслідок хімічних реакцій відбувається розчинення цих сполук, і розчинені форми заліза разом із ґрунтовими водами та поверхневим стоком потрапляють у водні об'єкти. Інтенсивність опадів, особливо після тривалих періодів сухої погоди, може призводити до збільшення виносу заліза, оскільки накопичені на поверхні ґрунту сполуки стають доступнішими для розчинення.

Окрім того, під час сильних злив відбувається змив завислих речовин з поверхні водозбірної площі. Ерозійні процеси призводять до потрапляння у водні об'єкти дрібних частинок ґрунту та гірських порід, які також можуть

містити значну кількість сполук заліза. Це особливо помітно у невеликих водотоках після злив, коли вода набуває характерного червонуватого відтінку.

Важливу роль відіграють і кислотні дощі, що утворюються внаслідок забруднення атмосфери оксидами сірки та азоту. Знижений рН таких опадів сприяє підвищенню розчинності сполук заліза як у ґрунтах водозбірної площі, так і в донних відкладах самих водних об'єктів. Це призводить до активнішого переходу заліза у розчинену форму та зростання його концентрації у воді.

Водночас, значні об'єми атмосферних опадів можуть мати і протилежний ефект – розбавлення існуючої концентрації розчинених речовин, включаючи залізо, у великих водних об'єктах. Проте цей ефект може бути менш вираженим у невеликих водоймах, де переважає надходження заліза з водозбірної площі.

Сезонність опадів також є важливим фактором. У періоди інтенсивних дощів або сніготанення надходження заліза у водні об'єкти, як правило, зростає. У посушливі періоди, навпаки, концентрація заліза може збільшуватися за рахунок зменшення об'єму води та процесів випаровування.

Отже, на основі вищезазначеного, було висунуто робочу гіпотезу: зі збільшенням кількості атмосферних опадів спостерігатиметься зростання концентрації загального заліза у поверхневих водних об'єктах внаслідок посилення процесів вилуговування залізовмісних сполук з ґрунтів та змиву зважених речовин.

Цю робочу гіпотезу було перевірено шляхом аналізу даних про кількість атмосферних опадів та показники загального заліза у пункті спостереження 3 упродовж певного періоду часу. На рис. 5.6. подано моделі залежності вмісту загального заліза від кількості опадів.

Лінійна модель  $y = -0,00007x + 0,26371$  показує слабку негативну залежність. Зі збільшенням кількості опадів прогнозується незначне зменшення вмісту загального заліза. Кутовий коефіцієнт (-0,00007) є дуже

малим, що вказує на слабкий вплив. Візуально лінія не дуже добре описує загальну тенденцію даних.

Квадратична модель  $y = -1,21e-06x^2 + 1,09e-03x + 0,00$ ). Ця модель відображає нелінійну залежність з параболічною формою. Вона показує зростання вмісту заліза при малих та середніх значеннях опадів, досягаючи максимуму, а потім починає спадати при більших значеннях опадів. Візуально ця модель дещо краще відображає деякі локальні тенденції в даних порівняно з лінійною.

Кубічна модель  $y = 1,21e-08x^3 - 1,85e-05x^2 + 8,90e-03x - 1,13$  є ще більш гнучкою і може описувати складніші нелінійні залежності з однією точкою перегину. На графіку видно, що вона намагається краще підлаштуватися під окремі групи точок, але при цьому може мати значні відхилення в інших діапазонах кількості опадів. Складність рівняння робить інтерпретацію фізичного змісту залежності менш очевидною.

Логарифмічна модель  $y = -0,0224 \ln(x) + 0,3673$ ) показує спадання вмісту заліза зі збільшенням кількості опадів, але темп цього спадання сповільнюється при більших значеннях опадів. Візуально ця модель також не дуже добре апроксимує більшість даних, особливо в діапазоні середніх значень опадів.

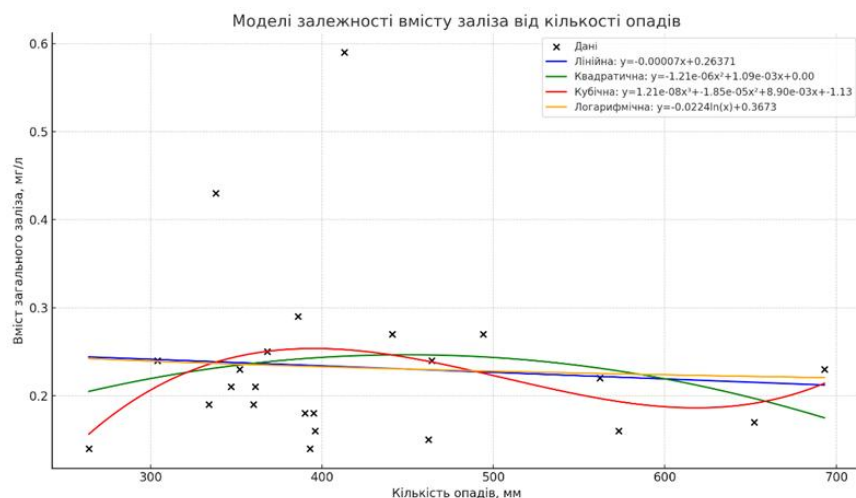


Рис. 5.6. Моделі залежності вмісту загального заліза від кількості опадів.

Отже, жодна з представлених моделей не демонструє чіткої та переконливої залежності вмісту загального заліза від кількості опадів на основі робочої гіпотези. Кількість опадів може не бути основним або єдиним чинником, що визначає вміст загального заліза у воді. Інші чинники, такі як геологічна будова водозбірної площі, хімічний склад опадів (наприклад, кислотність), сезонність, інтенсивність опадів, гідрологічні умови, а також антропогенне вплив, можуть мати значно більший вплив.

### **5.5. Вплив кількості опадів на рівень сульфатів і нітратів.**

Кількість опадів відіграє важливу роль у формуванні хімічного складу поверхневих вод, зокрема впливаючи на концентрацію сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$  та нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ). Опади можуть містити сульфати, особливо під час забруднення повітря сульфуровмісними сполуками (наприклад, від спалювання викопного палива, промислових викидів). Збільшення кількості опадів може призводити до більшого надходження сульфатів безпосередньо у водні об'єкти. Інтенсивні опади можуть спричиняти збільшення поверхневого стоку з прилеглих територій. Цей стік може вимивати сульфати з ґрунтів (особливо з гіпсоносних порід або сільськогосподарських угідь, де використовуються сульфатні добрива) та транспортувати їх до поверхневих вод, підвищуючи їх концентрацію. З іншого боку, значні опади можуть призводити до розбавлення існуючих концентрацій сульфатів у водних об'єктах, особливо в періоди тривалих дощів, коли приплив води значно перевищує надходження сульфатів.

Подібно до сульфатів, опади можуть містити нітрати, особливо в районах з високим рівнем викидів нітроген оксидів (наприклад, від транспорту, промисловості, сільського господарства). Збільшення опадів може сприяти надходженню нітратів безпосередньо у водні об'єкти. Опади, просочуючись крізь ґрунт, можуть вимивати нітрати з сільськогосподарських угідь (де використовуються азотні добрива), каналізаційних систем, а також

продуктів розкладання органічної речовини. Збільшення опадів може призводити до інтенсивнішого вимивання та транспортування нітратів до поверхневих вод через поверхневий стік та інфільтрацію в ґрунтові води, які потім можуть потрапляти у річки та озера.

У заболочених ділянках або в анаеробних умовах (створених надмірним зволоженням після сильних опадів) може активізуватися процес денітрифікації, внаслідок якого нітрати перетворюються на газоподібні сполуки азоту і видаляються з води. Так надмірні опади в певних умовах можуть призводити до зниження концентрації нітратів. Як і у випадку з сульфатами, значні опади можуть розбавляти концентрацію нітратів у поверхневих водах.

Існують розбіжності у впливі опадів на концентрації сульфатів і нітратів, зумовлені різними джерелами їх надходження та процесами трансформації. Сульфати часто мають значні природні джерела (вивітрювання гірських порід), тоді як нітрати в поверхневих водах значною мірою пов'язані з антропогенною діяльністю (сільське господарство, промисловість, каналізаційні стоки). Атмосферні опади можуть бути важливим джерелом обох іонів, але їхній відносний внесок може відрізнятися залежно від регіону та рівня забруднення повітря. Нітрати є більш мобільними в ґрунті порівняно з сульфатами, оскільки вони мають слабкий негативний заряд і менше адсорбуються ґрунтовими частинками. Це означає, що збільшення опадів може швидше призводити до вимивання нітратів у підземні та поверхневі води. Нітрати піддаються активним біологічним процесам у водних екосистемах (нітрифікація, денітрифікація), які можуть змінювати їхню концентрацію залежно від умов (наявність кисню, органічної речовини). Сульфати також можуть відновлюватися до сульфідів в анаеробних умовах, але ці процеси можуть бути менш інтенсивними в багатьох поверхневих водах.

Ефект розбавлення від значних опадів може бути більш помітним для тих іонів, чий джерела надходження є відносно стабільними і не залежать безпосередньо від кількості опадів.

У процесі вивчення впливу кількості опадів на сульфати і нітрати було висунуто робочу гіпотезу: збільшення кількості опадів призведе до підвищення концентрації як сульфатів, так і нітратів у поверхневих водах за рахунок вимивання з атмосферних осадів та поверхневого стоку з прилеглих територій. Однак, вплив опадів на концентрацію нітратів буде більш вираженим та швидким через їхню вищу мобільність у ґрунті та значний внесок антропогенних джерел, тоді як вплив на сульфати може бути більш залежним від геологічних особливостей території та рівня атмосферного забруднення сірковмісними сполуками. У періоди тривалих та інтенсивних опадів можливе тимчасове зниження концентрації обох іонів внаслідок ефекту розбавлення.

На рис. 5.7 і 5.8 подано моделі залежності вмісту сульфатів і нітратів від кількості опадів.

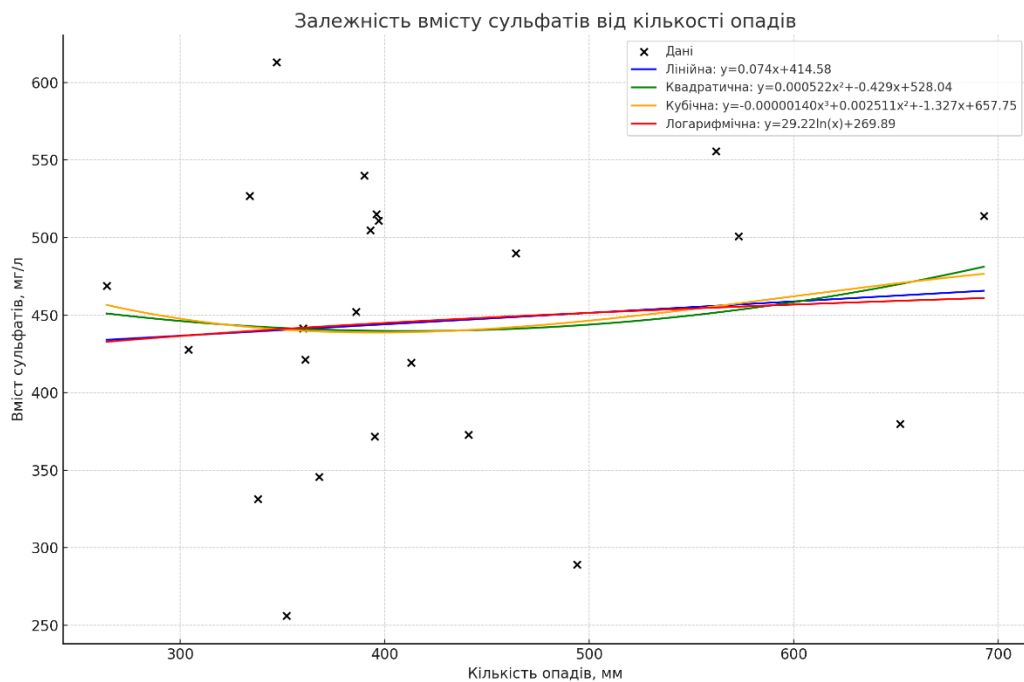


Рис. 5.7. Моделі залежності вмісту сульфатів від кількості опадів.

Лінійна модель описується рівнянням  $y=0,07x+414,58$  і передбачає сталу швидкість зміни вмісту сульфатів зі збільшенням опадів. Квадратична модель  $y=5,22 \times 10^{-4}x^2-0,43x+528,04$ , що свідчить, що вплив опадів на вміст сульфатів спочатку може зменшуватися або зростати повільніше, а потім починає зростати швидше зі збільшенням кількості опадів. Лінійна модель ( $R^2 \approx 0,0017$ ) пояснює лише близько 0,17% дисперсії вмісту сульфатів зміною кількості опадів. Це дуже низький показник, що свідчить про практично відсутність лінійної залежності між цими змінними у вашому наборі даних. Квадратична модель  $y=5,22 \times 10^{-4}x^2-0,43x+528,04$  враховує нелінійний вплив опадів. Вона краще описує ситуацію, коли вплив опадів на вміст сульфатів змінюється залежно від їхньої кількості (наприклад, ефект розбавлення при малих кількостях опадів, а потім вимивання при більших). Квадратична модель ( $R^2 \approx 0,0349$ ) пояснює близько 3,49% дисперсії. Це дещо краще за лінійну модель, але все ще відносно низький показник. Нелінійна залежність другого порядку пояснює трохи більшу частину варіацій. Кубічна модель  $y=-1,40 \times 10^{-6}x^3+2,51 \times 10^{-3}x^2-1,33x+657,75$  є ще більш гнучкою і може описувати залежності з двома точками перегину. Однак, складніші моделі можуть бути схильні до перенавчання, особливо якщо обсяг даних невеликий. Кубічна модель ( $R^2 \approx 0,0534$ ) демонструє найвищий коефіцієнт детермінації серед розглянутих моделей, пояснюючи близько 5,34% дисперсії. Це вказує на те, що модель третього порядку найкраще (серед цих чотирьох) описує складнішу нелінійну залежність між кількістю опадів та вмістом сульфатів у вашому наборі даних, хоча загалом зв'язок залишається слабким. Логарифмічна модель  $y=29,22 \ln(x)+269,89$  з коефіцієнтом детермінації ( $R^2 \approx 0,0003$ ), що свідчить про слабку логарифмічну залежність між змінними.

На основі отриманих даних, можна засвідчити, що жодна з розглянутих моделей не демонструє сильного зв'язку між кількістю опадів та вмістом сульфатів у наданому наборі даних. Кубічна модель має найвищий  $R^2$ , що свідчить про те, що вона найкраще описує наявну залежність серед цих чотирьох, хоча ця залежність є слабкою (лише близько 5,34% дисперсії пояснюється моделлю).

На графіку рис. 5.8 зображено чотири моделі залежності вмісту нітратів у поверхневих водах від кількості опадів. Лінійна модель описується рівнянням  $y=0,3519x+413,6966$  ( $R^2=0,01$ ). Квадратична модель –  $y=-0,0044x^2+0,7224x+411,4469$  ( $R^2=0,01$ ). Кубічна модель відповідає рівнянню  $y=-0,000505x^3 + 0,0637x^2-1,4279x + 419,2476$  ( $R^2=0,02$ ). Логарифмічна модель –  $y=6,4478\ln(x)+407,8197$  ( $R^2=0,01$ ). Усі моделі мають дуже низькі коефіцієнти детермінації ( $R^2\approx 0,01-0,02$ ), що означає, що кількість опадів майже не пояснює варіацію вмісту нітратів.

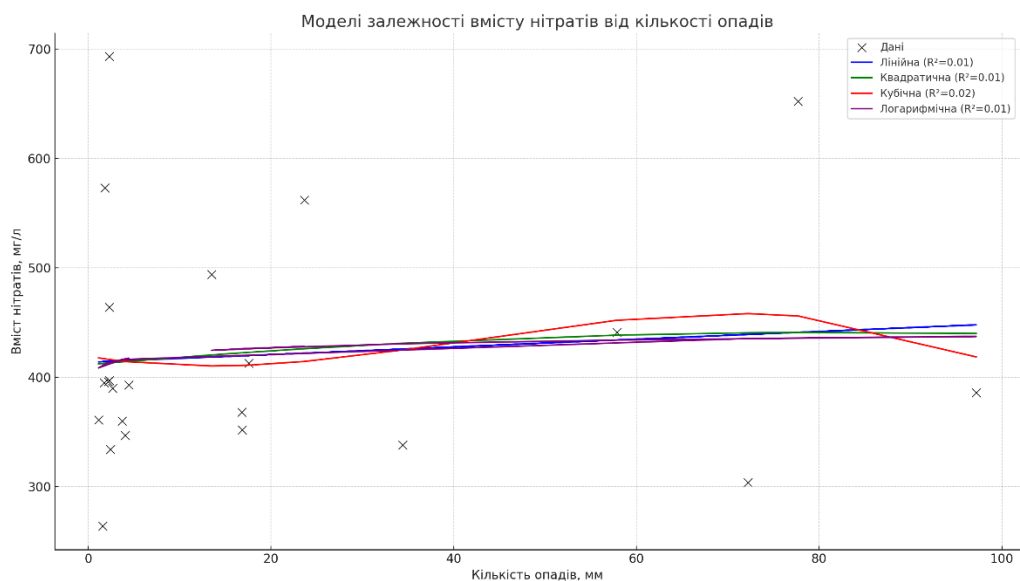


Рис. 5.8. Моделі залежності вмісту нітратів від кількості опадів.

Отже, висунута гіпотеза не підтвердилась. Кількість опадів не є надійним предиктором для вмісту нітратів. Ймовірно, існують інші, більш важливі чинники, які впливають на вміст нітратів (наприклад, джерела забруднення, тип ґрунтів, сільське господарство, гідрографія, сезонність).

### Висновки до п'ятого розділу

У ході дослідження було висунуто низку гіпотез щодо впливу кількості атмосферних опадів на основні гідрохімічні показники вод Південного Бугу, зокрема: розчинний кисень, біологічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>), рН, мінералізацію, загальне залізо, твердість, нітрати та сульфати. Водночас

результати побудови статистичних моделей не підтвердили значущого впливу кількості опадів на більшість із цих показників.

Для розчинного кисню жодна з моделей не продемонструвала переконливої залежності (макс.  $R^2=0,0172$  для квадратичної моделі), що свідчить про переважання інших чинників (температура води, гідродинаміка, цвітіння водоростей тощо). Аналогічна ситуація спостерігалася й для БСК<sub>5</sub> – найбільший коефіцієнт детермінації для квадратичної моделі становив лише 0,10, а решта моделей показали ще слабші зв'язки.

Залежність рН від опадів також виявилася вкрай слабкою ( $R^2$  до 0,047 для кубічної моделі), що підтверджує переважний вплив антропогенних забруднень та геохімічних умов. Моделі для мінералізації продемонстрували низьку пояснювальну здатність навіть для поліномів високого ступеня ( $R^2 \approx 0,136$  для полінома 4-го ступеня).

Найбільш переконливим виявився вплив опадів на твердість води. Кубічна модель мала  $R^2 \approx 0,705$ , що свідчить про суттєвий нелінійний зв'язок між показниками. Це частково підтверджує гіпотезу щодо розбавлення води та зменшення концентрації йонів кальцію та магнію в періоди рясних дощів.

Для загального заліза, сульфатів і нітратів залежність від кількості опадів виявилася слабкою або практично відсутньою. Навіть найбільш точні моделі (наприклад, кубічна для сульфатів з  $R^2 \approx 0,0534$  або для нітратів з  $R^2 \approx 0,02$ ) не дозволяють говорити про визначальний вплив опадів.

Отже, висунуті гіпотези підтвердилися лише частково: у більшості випадків кількість опадів не є провідним чинником у формуванні гідрохімічного режиму річки, хоча певні тенденції на окремих ділянках (як у випадку твердості) можуть фіксуватися.

Причина слабого впливу кількості опадів полягає в складності гідроекологічних процесів. Водна екосистема річки Південний Буг має здатність до саморегуляції через процеси розбавлення, біологічного самоочищення, денітрифікації, осадження завислих речовин та гідродинамічних змін часто компенсують вплив опадів.

До того, на хімічний склад води суттєво впливають інші чинники – зокрема, температура води, швидкість течії, глибина, сезонність, атмосферний тиск, антропогенне навантаження, типи ґрунтів і геологічна будова басейну, які часто переважають над кліматичним параметром «кількість опадів», особливо за умов урбанізованих або сільськогосподарських територій із високим рівнем забруднення. Також слід враховувати, що опади можуть мати як позитивний (розбавлення, аерація), так і негативний (змив забруднень, евтрофікація) вплив, і ці ефекти можуть взаємно нівелюватися. Тому для надійного прогнозування хімічного стану поверхневих вод однієї лише інформації про кількість опадів недостатньо – потрібна інтеграція багатофакторного аналізу.

## РОЗДІЛ 6

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА АКВАТОРІЮ ПІВДЕННОГО БУГУ ПОБЛИЗУ МИКОЛАЄВА

#### 6.1. Побудова статистичних моделей залежності гідрохімічних показників від температури та кількості опадів.

Математична модель вмісту розчинного кисню ( $DO$ ) залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.1 та моделлю рис. 6.1.

$$DO=12,3425+0,2322\cdot T+0,0224\cdot P-0,0548\cdot T^2-0,0004\cdot T\cdot P-0,0000\cdot P^2 \quad (6.1)$$

Член  $0,2322T$  показує, що спочатку зі зростанням температури  $DO$  має тенденцію до збільшення, але член  $0,0548\cdot T^2$  вказує на параболічну залежність. Це означає, що існує оптимальна температура, після якої вміст розчинного кисню почне зменшуватися. Оптимальна температура води, при якій вміст розчинного кисню досягає свого максимуму, становить приблизно  $2,12^\circ\text{C}$ . Це логічно з біологічної та фізичної точок зору, оскільки розчинність газів (як кисень) у воді зазвичай зменшується зі зростанням температури, але біологічна активність, яка споживає кисень, також залежить від температури. Однак, зазвичай, розчинність кисню зменшується з підвищенням температури, тому позитивний лінійний коефіцієнт  $0,2322\cdot T$  може вказувати на те, що модель відображає більш складний процес або має обмежений діапазон застосування. Можливо, модель враховує не тільки фізичну розчинність, але й біологічні процеси, що впливають на  $DO$ .

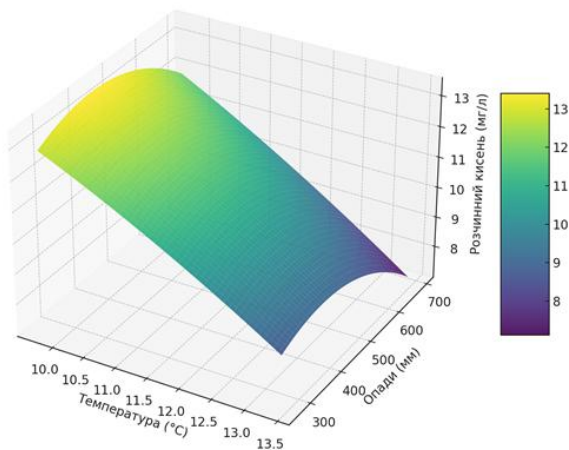
Член  $0,0224\cdot P$  вказує на позитивний лінійний вплив опадів на вміст  $DO$ . Тобто, зі збільшенням опадів, вміст розчинного кисню зростає. Це може бути пов'язано з додаванням свіжої, можливо, більш насиченої киснем води або зі збільшенням перемішування води під час дощу.

Член  $0,0004 \cdot T \cdot P$  показує невеликий негативний взаємодіючий ефект. Це означає, що вплив опадів на DO може дещо зменшуватися при вищих температурах, або навпаки. Цей коефіцієнт досить малий, тому його вплив, ймовірно, незначний.

Квадратичний член опадів  $P^2$  є надзвичайно малим і практично нульовим. Фактично, можна було б розглянути спрощення моделі, виключивши цей член, якщо він статистично незначущий.

Значення коефіцієнта детермінації  $R^2=0,4484$  вказує, що лише 44,84% варіації вмісту розчинного кисню (DO) може бути пояснено змінами температури води (T) та кількості опадів (P) за допомогою цієї моделі. Чітко формується висновок про вплив кліматичних чинників на 45% та існування інших впливів на показник розчинного кисню, наприклад, рівень забруднення, гідрологічний режим (швидкість течії), наявність флори та фауни тощо.

3D модель розчинного кисню від температури та опадів



3D модель БСК<sub>5</sub> від температури та опадів

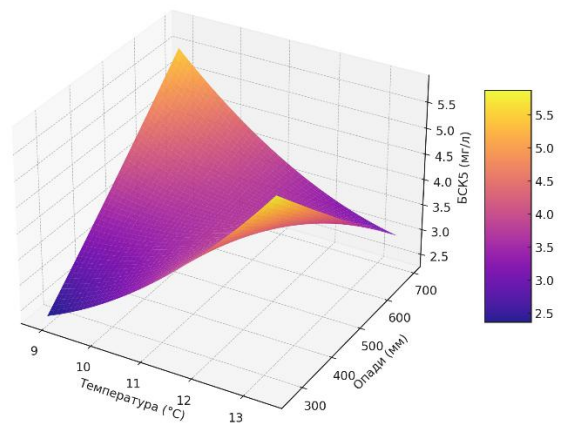


Рис. 6.1. 3D модель DO, БСК<sub>5</sub> від температури та кількості атмосферних опадів.

Математична модель БСК<sub>5</sub> залежно від температури води (T) та кількості опадів (P) описується рівнянням 6.2 та моделлю рис. 6.1.

$$BCK_5 = -20,671 + 0,007 \cdot P + 4,652 \cdot T - 0,000004 \cdot P^2 - 0,187 \cdot T^2 + 0,00008 \cdot P \cdot T \quad (6.2)$$

Коефіцієнт детермінації  $R_2=0,176$ , що означає, що лише 17,6% варіацій в значенні БСК<sub>5</sub> може бути пояснено змінами кількості опадів та температури повітря за допомогою цієї квадратичної моделі. Більше 82% варіації БСК<sub>5</sub> залишається поза цією моделлю, а це свідчить про те, що опади та температура повітря (кліматичні чинники), хоча й можуть мати певний вплив, не є основними або єдиними факторами, що визначають рівень БСК<sub>5</sub>, як інтегрованого показника.

Щодо впливу змінних, а саме опадів, то можна стверджувати, що коефіцієнт при лінійному члені опадів  $+0,007$  є позитивним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів БСК<sub>5</sub> має тенденцію до невеликого зростання. Квадратичний член опадів  $(-0,000004 \cdot P^2)$  є дуже малим, що свідчить про практично лінійний або дуже слабкий нелінійний вплив опадів. Лінійний коефіцієнт температури  $+4,652$  є позитивним, а квадратичний  $-0,187 \cdot T^2$  є негативним. Це вказує на параболічну залежність БСК<sub>5</sub> від температури повітря, подібну для  $DO$ . Тобто, існує певна оптимальна температура, при якій БСК<sub>5</sub> досягає максимуму, а потім починає зменшуватися.

Оптимальна температура для БСК<sub>5</sub> (розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $4,652 \cdot T - 0,187 \cdot T^2$  становить приблизно:  $T_{\text{опт}} = -4,652 / (2 \cdot (-0,187)) \approx 12,44$  °C.

Ця оптимальна температура  $T_{\text{опт}} \approx 12,44$  °C є цілком реалістичною для природних процесів, що впливають на БСК<sub>5</sub>. Це можна підтвердити на основі того, що БСК<sub>5</sub> є показником біохімічного споживання кисню мікроорганізмами для розкладання органічних речовин у воді. Активність цих мікроорганізмів (бактерій, грибів) сильно залежить від температури. Як правило, зі зростанням температури до певного діапазону швидкість біохімічних реакцій (і, отже, споживання кисню) зростає. Багато мезофільних бактерій, які відповідають за розкладання органічних речовин у природних водоймах, мають оптимальну температуру для своєї життєдіяльності в діапазоні приблизно від 15°C до 30°C, але їх активність починає зростати вже

при нижчих температурах, і пік може припадати на помірні значення.  $12,44^{\circ}\text{C}$  знаходиться у цьому помірному діапазоні, де активність мікроорганізмів вже досить висока, але ще не досягнуті температури, які можуть спричинити їхнє зменшення або загибель. У гідроекосистеми Південного Бугу у межах міста Миколаєва температура може коливатися від майже  $0^{\circ}\text{C}$  взимку до  $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$  влітку. Температура близько  $12\text{--}15^{\circ}\text{C}$  є досить типовою для багатьох природних вод у весняний або осінній періоди, коли біологічна активність є значною. До того,  $\text{БСК}_5$  відбиває сукупність багатьох біологічних та хімічних процесів, і «оптимальна» температура може бути компромісом або середньою оптимальною температурою для домінуючих мікробних спільнот, які мають місце у нашому випадку.

Хоча розчинність кисню у воді фізично зменшується зі зростанням температури, біологічна активність, яка споживає цей кисень (і вимірюється  $\text{БСК}$ ), зростає до певного оптимуму. Розрахована оптимальна температура  $12,44^{\circ}\text{C}$  добре вписується в діапазон, де можна очікувати високу або пікову активність мікроорганізмів.

Коефіцієнт взаємодії  $(+0,00008 \cdot P \cdot T)$  є дуже малим, що свідчить про незначний вплив взаємодії між опадами та температурою повітря на  $\text{БСК}_5$ . Отже, кліматичні чинники, такі як кількість опадів та температура повітря, мають відносно малий вплив на варіації  $\text{БСК}_5$ . Тому, окрім кліматичних факторів, на  $\text{БСК}$  можуть значно впливати: концентрація органічних речовин у воді через скиди стічних вод, змив органіки з сільськогосподарських угідь, міських територій, розклад відмерлих рослинних і тваринних решток, ерозія ґрунту; наявність та активність мікроорганізмів; гідрологічний режим та морфологія водойми тощо.

Математична модель  $pH$  залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.3 та моделлю рис. 6.2:

$$pH = 1,805 - 0,0003 \cdot P - 0,612 \cdot T + 0,0000003 \cdot P^2 + 0,026 \cdot T^2 - 0,00001 \cdot P \cdot T \quad (6.3)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,354$  є низьким, що означає, що лише 35,4% варіації значення рН може бути пояснено змінами кількості опадів та температури повітря за допомогою цієї квадратичної моделі. Понад 64% варіації рН залишається поза моделлю. Це вказує на те, що, хоча опади та температура повітря мають певний вплив, вони не є основними чинниками, що визначають рівень рН. Ця модель краща, ніж модель для БСК<sub>5</sub>, але все ще не дуже сильна.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $-0,0003$  є негативним, вказуючи на те, що зі зростанням опадів рН має тенденцію до невеликого зниження. Квадратичний член опадів  $+0,0000003 \cdot P^2$  є надзвичайно малим, що вказує на практично лінійний або дуже слабкий нелінійний вплив опадів, що логічно, оскільки дощова вода, як правило, має слабокислий рН (близько 5,6 через розчинений вуглекислий газ, а за умов кислотних дощів може бути ще нижчою), і її надходження може розбавляти лужні сполуки або додавати кислоти. Лінійний коефіцієнт температури  $-0,612$  є негативним, а квадратичний  $+0,026 \cdot T^2$  є позитивним, що вказує на параболічну залежність рН від температури повітря, але парабола відкривається вгору (має мінімум). Це означає, що існує певна температура, при якій рН досягає свого мінімуму, а потім починає зростати.

Мінімальна температура для рН розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $-0,612 \cdot T + 0,026 \cdot T^2$  становить приблизно  $T_{\min} = -(-0,612)/(2 \cdot 0,026) \approx 11,77$  °С. Така залежність може бути пов'язана зі зміною розчинності газів (наприклад,  $\text{CO}_2$ ), біологічної активності (фотосинтез/дихання) або інших хімічних реакцій, які впливають на рН зі зміною температури.

Коефіцієнт взаємодії  $-0,00001 \cdot P \cdot T$  є дуже малим, що свідчить про незначний вплив взаємодії між опадами та температурою повітря на рН.

Як і у випадку з БСК, ця модель свідчить про незначний вплив кліматичних чинників на інтегрований показник якості води рН. Знайдені

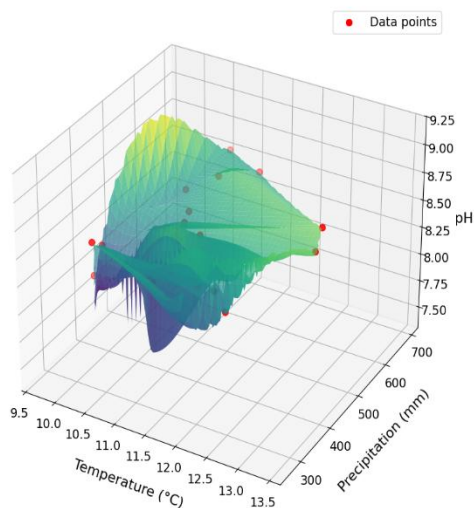
залежності, а саме невелике зниження рН з опадами та параболічний вплив температури є біологічно та хімічно правдоподібними, оскільки рН у водних системах є складним параметром, що залежить від балансу кислот і лугів, розчинених газів, мінералізації та біологічної активності, на які впливають опади і температура.

Більш вирішальним для рН є геологічні особливості території, тобто тип ґрунтів і гірських порід; антропогенний вплив через скиди стічних вод тощо. Математична модель *мінералізації* залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.4 та рис. 6.2:

$$\text{Мінералізація} = 22774,2 - 27,2 \cdot P - 2806,9 \cdot T + 0,03 \cdot P^2 + 106,6 \cdot T^2 + 0,9 \cdot P \cdot T \quad (6.4)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,288$  є низьким, що означає, що лише 28,8% варіації значення мінералізації може бути пояснено змінами кількості опадів та температури повітря за допомогою цієї квадратичної моделі. Понад 71% варіації мінералізації залишається на інші чинники некліматичного характеру. Це, як і в попередніх випадках, вказує на те, що опади та температура повітря не є основними факторами, що визначають рівень мінералізації.

3D Model: pH dependence on Temperature and Precipitation



3D Model: Mineralization dependence on Temperature and Precipitation

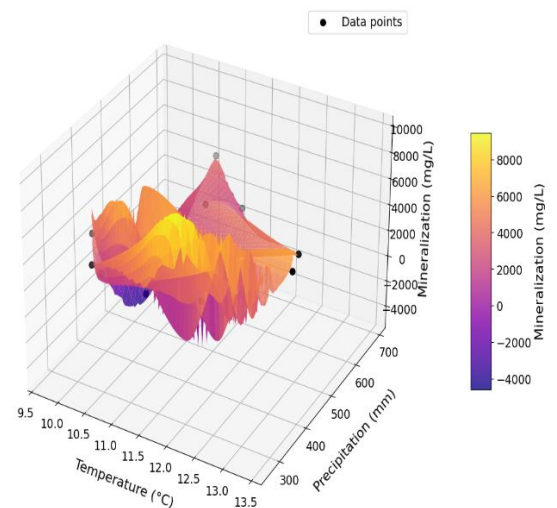


Рис. 6.2. 3D моделі рН, мінералізації від температури та кількості атмосферних опадів.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $-27,2$  є негативним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів мінералізація має тенденцію до зниження. Це логічно, оскільки збільшення опадів може призводити до розведення розчинених речовин у водоймі, тим самим знижуючи концентрацію мінералів. Квадратичний член опадів  $+0,03 \cdot P^2$  є позитивним, що свідчить про слабку нелінійність.

Лінійний коефіцієнт температури  $-2806,9$  є негативним, а квадратичний  $+106,6 \cdot T^2$  є позитивним. Це вказує на параболічну залежність мінералізації від температури повітря, де парабола відкривається вгору (має мінімум).

Мінімальна температура для мінералізації (розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $-2806,9 \cdot T + 106,6 \cdot T^2$  становить приблизно  $T_{\min} = -(-2806,9)/(2 \cdot 106,6) \approx 13,17$  °C. Це може відображати складну взаємодію між температурою та процесами випаровування (що підвищує мінералізацію) або інтенсивністю стоку/розведення (що може знижувати).

Коефіцієнт взаємодії  $+0,9 \cdot P \cdot T$  є позитивним і відносно більшим порівняно з аналогічними коефіцієнтами в попередніх моделях, що може свідчити про більший взаємодіючий вплив опадів та температури на мінералізацію.

Отже, незважаючи на низький  $R^2$ , напрямок впливу опадів (розведення) та нелінійна залежність від температури є логічними з огляду гідрохімії та гідрології. Мінералізація часто зменшується при великих опадах через ефект розведення і може зростати при високих температурах через збільшення випаровування. Проте, зазначимо чинники, які можуть мати більш вирішальне значення для мінералізації: геологічна будова водозбору (тип гірських порід і ґрунтів); гідрологічний режим (рівень води та стік); антропогенний вплив через скиди стічних вод, зрошення, засолення ґрунтів тощо.

Математична модель твердості залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.5 та рис. 6.3:

$$\text{Твердість} = -60,835 + 0,057 \cdot P + 12,756 \cdot T - 0,00003 \cdot P^2 - 0,537 \cdot T^2 - 0,0007 \cdot P \cdot T \quad (6.5)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,380$  є низьким, що означає, що лише 38,0% варіації значення твердості води може бути пояснено кліматичними чинниками. Понад 62% варіації твердості води залежить від інших показників, не пов'язаних з кліматом. Ця модель показує дещо кращий результат ніж моделі для БСК<sub>5</sub> та мінералізації, але все ще є слабкою прогностичною.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $+0,057$  є позитивним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів твердість води має тенденцію до невеликого зростання.

Квадратичний член опадів  $-0,00003 \cdot P^2$  є дуже малим і негативним, що вказує на дуже слабку параболічну залежність, де вплив опадів може спочатку зростати, а потім, при дуже великих значеннях, дещо зменшуватись. Загалом, вплив опадів є відносно невеликим у цій моделі. Збільшення твердості з опадами може здатися неочікуваним, оскільки дощі зазвичай розбавляють, але це може бути пов'язано з інтенсивнішим змивом мінералів з ґрунту при значних опадах.

Лінійний коефіцієнт температури  $+12,756$  є позитивним, а квадратичний  $-0,537 \cdot T^2$  є негативним. Це вказує на параболічну залежність твердості від температури повітря, де парабола відкривається вниз (має максимум).

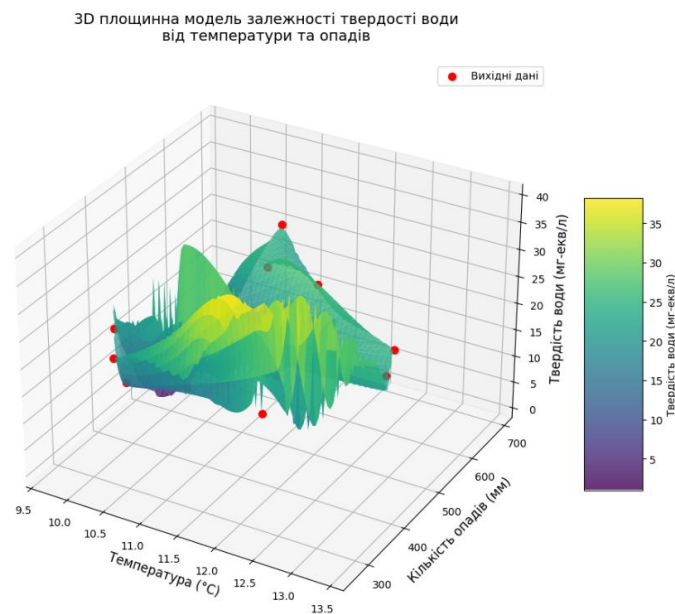


Рис. 6.3. 3D моделі твердості від температури та кількості атмосферних опадів.

Оптимальна температура для твердості (розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $12,756 \cdot T - 0,537 \cdot T^2$ ) становить близько:  $T_{\text{опт}} = -12,756 / (2 \cdot (-0,537)) \approx 11,88$  °С. Це може бути пов'язано з тим, що при певних температурах розчинність мінералів (які формують твердість) може досягати максимуму, або ж це може відображати складніші процеси взаємодії між температурою, біологічною активністю та хімічними рівновагами, що впливають на твердість.

Коефіцієнт взаємодії  $-0,0007 \cdot P \cdot T$  є негативним і дуже малим, що свідчить про незначний вплив взаємодії між опадами та температурою повітря на твердість.

Отже, модель знов доводить, що основними чинниками, що впливають на цей показник є: геологічний склад водозбору (як ключовий); антропогенний вплив через скиди промислових та побутових стоків, сільськогосподарські стоки.

Математична модель заліза загального ( $Fe_{\text{заг.}}$ ) залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.6 та 3D моделлю рис. 6.4:

$$Fe_{\text{заг.}} = -0,528 - 0,0003 \cdot P + 0,128 \cdot T + 0,0000005 \cdot P^2 - 0,005 \cdot T^2 - 0,000003 \cdot P \cdot T \quad (6.6)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,127$  є дуже низьким, що вказує, що лише 12,7% варіації значення загального заліза може бути пояснено кліматичними чинниками. Більше 87% варіації загального заліза залишається поза впливом кліматичних чинників. Це найнижчий  $R^2$  з усіх моделей, які ми будували, і це сильно вказує на те, що опади та температура повітря мають дуже обмежений прямий вплив на рівень загального заліза.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $-0,0003$  є негативним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів загальне залізо має тенденцію до дуже невеликого зниження. Квадратичний член опадів  $+0,0000005 \cdot P^2$  є надзвичайно малим. Це може бути пов'язано з ефектом розведення при великій кількості опадів, хоча вплив дуже малий.

Лінійний коефіцієнт температури  $+0,128$  є позитивним, а квадратичний  $-0,005 \cdot T^2$  є негативним. Це вказує на параболічну залежність загального заліза від температури повітря, де парабола відкривається вниз (має максимум).

Оптимальна температура для загального заліза розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $0,128 \cdot T - 0,005 \cdot T^2$  становить близько:  $T_{opt} = -0,128 / (2 \cdot (-0,005)) \approx 12,8$  °С. Вплив температури на залізо є складним. Підвищення температури може збільшувати швидкість реакцій, що впливають на розчинність заліза, але також може сприяти його випаданню в осад (наприклад, гідроксидів заліза за наявності кисню).

Коефіцієнт взаємодії  $-0,000003 \cdot P \cdot T$  є надзвичайно малим і негативним, що свідчить про практично відсутній або дуже незначний вплив взаємодії між опадами та температурою повітря на загальне залізо.

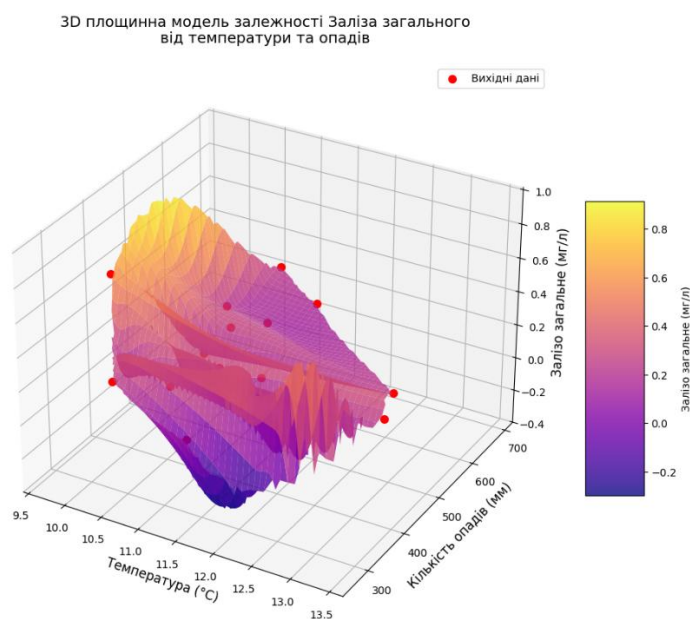


Рис. 6.4. 3D моделі загального заліза від температури та кількості атмосферних опадів.

Отже, модель підтверджує, що кліматичні чинники (опадів та температура повітря) є дуже слабкими предикторами загального заліза.

Найбільш вирішальне значення для загального заліза є геологічні умови, антропогенні чинники через скиди промислових стічних вод (металургія,

хімічна промисловість), корозія водопровідних труб, вимивання звалищ, а також донні відкладення, а також мікробіологічна активність (деякі бактерії можуть відновлювати або окиснювати залізо, впливаючи на його розчинність). Математична модель нітратів ( $NO_3^-$ ) залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.7 та 3D моделлю рис. 6.5:

$$NO_3^- = -1050,1 + 0,165 \cdot P + 208,7 \cdot T - 0,00007 \cdot P^2 - 9,08 \cdot T^2 + 0,003 \cdot P \cdot T \quad (6.7)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,505$  є помірним, що означає, що 50,5% варіації значення нітратів може бути пояснено змінами кількості опадів та температури повітря за допомогою моделі. Це є найкращим показником  $R^2$  серед усіх моделей, проте близько 49% варіації все ще залишається поза кліматичних чинників.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $+0,165$  є позитивним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів рівень нітратів має тенденцію до зростання. Квадратичний член опадів  $-0,00007 \cdot P^2$  є негативним, що вказує на параболічну залежність, де вплив опадів спочатку зростає, а потім може уповільнюватись або навіть зменшуватись. Це пояснюється зі змивом нітратів з сільськогосподарських угідь або інших джерел з поверхні землі під час дощів. Лінійний коефіцієнт температури  $+208,7$  є позитивним, а квадратичний  $-9,08 \cdot T^2$  є негативним, що вказує на параболічну залежність нітратів від температури повітря, де парабола відкривається вниз (має максимум).

Оптимальна температура для нітратів (розрахована за формулою  $-b/(2a)$ ) для температурних членів  $208,7 \cdot T - 9,08 \cdot T^2$  становить близько:  $T_{\text{опт}} = -208,7 / (2 \cdot (-9,08)) \approx 11,49$  °C.

Коефіцієнт взаємодії  $+0,003 \cdot P \cdot T$  є позитивним і досить помітним порівняно з іншими малими коефіцієнтами. Це свідчить про те, що вплив опадів на нітрати може посилюватися при вищих температурах, і навпаки. Це має сенс, оскільки інтенсивність біологічних процесів та змиву може залежати від комбінації цих чинників.

Отже, модель має певну прогностичну цінність для розуміння впливу кліматичних факторів на нітрати. Однак, вона все ще не є ідеальною для точного прогнозування. Знайдені залежності (збільшення нітратів з опадами через змив, параболічний вплив температури на біологічні процеси) є логічними з огляду гідрохімії та азотного циклу. Проте, більш вирішальне значення для нітратів можуть мати такі чинники, як: антропогенний вплив через сільськогосподарський стік, скиди побутових стічних вод, промислові скиди, атмосферні опади (дощі можуть містити нітрати, що утворюються в атмосфері, наприклад, від викидів автомобілів) тощо.

Математична модель сульфатів ( $SO_4^{2-}$ ) залежно від температури води ( $T$ ) та кількості опадів ( $P$ ) описується рівнянням 6.8 3D моделлю рис. 6.5::

$$SO_4^{2-} = -2871,9 + 5,1 \cdot P + 665,3 \cdot T - 0,003 \cdot P^2 - 28,3 \cdot T^2 - 0,04 \cdot P \cdot T \quad (6.8)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,283$  є низьким, що означає, що лише 28,3% варіації значення сульфатів може бути пояснено змінами кліматичних чинників за допомогою моделі. Понад 71% варіації сульфатів залишається поза моделі.

Лінійний коефіцієнт при опадах  $+5,1$  є позитивним, що вказує на те, що зі збільшенням опадів рівень сульфатів має тенденцію до зростання. Квадратичний член опадів  $-0,003 \cdot P^2$  є негативним, що свідчить про параболічну залежність, де вплив опадів спочатку зростає, а потім може уповільнюватись. Це може бути пов'язано зі змивом сульфатів з ґрунтів, гірських порід або інших джерел з поверхні землі під час дощів.

Лінійний коефіцієнт температури  $+665,3$  є позитивним, а квадратичний  $-28,3 \cdot T^2$  є негативним, що вказує на параболічну залежність сульфатів від температури повітря, де парабола відкривається вниз (має максимум).

Оптимальна температура для сульфатів (розрахована за формулою  $-b/(2a)$  для температурних членів  $665,3 \cdot T - 28,3 \cdot T^2$  становить близько  $T_{\text{опт}} = -665,3 / (2 \cdot (-28,3)) \approx 11,77$  °C.

Вплив температури на концентрацію сульфатів може бути пов'язаний зі швидкістю розчинення сульфатних мінералів, біогеохімічними процесами (наприклад, окислення сульфідів) або інтенсивністю випаровування.

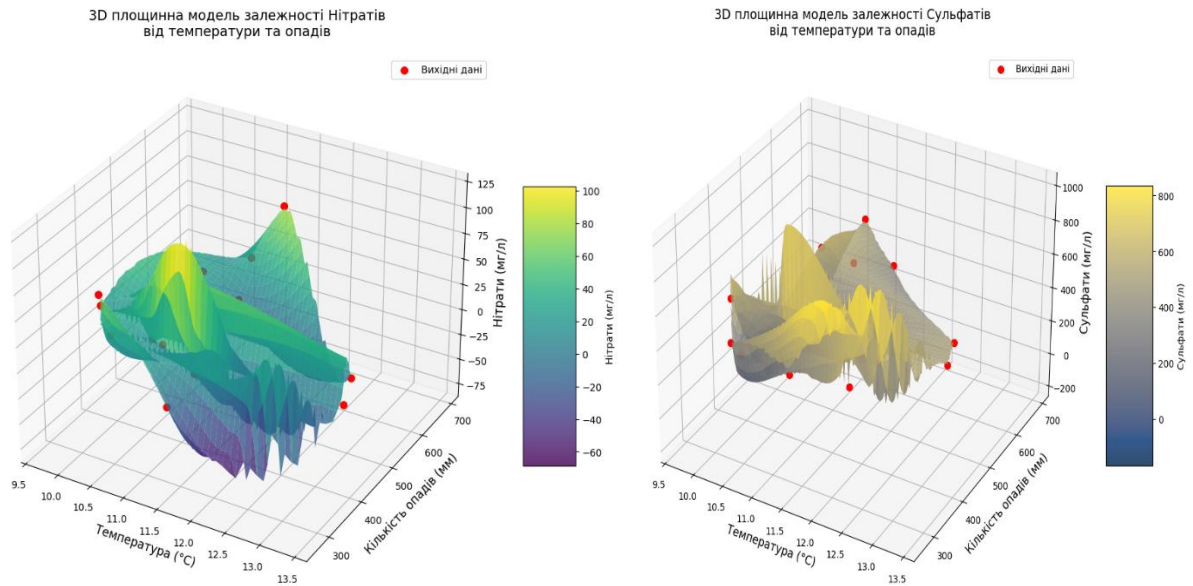


Рис. 6.5. 3D моделі нітратів та сульфатів від температури та кількості атмосферних опадів.

Коефіцієнт взаємодії  $-0,04 \cdot P \cdot T$  є негативним і досить малим, що свідчить про обмежений вплив взаємодії між опадами та температурою повітря на сульфати. Негативний коефіцієнт означає, що спільний ефект може бути меншим, ніж сума окремих ефектів.

Отже, модель засвідчила про низький вплив кліматичних чинників на сульфати. Їх концентрація більше залежить від: геологічний склад водозбору, антропогенного впливу через скиди промислових стічних вод, сільськогосподарський стік; гідрологічний режим (інтенсивність стоку та випаровування) тощо. Кліматичні дані можуть впливати на стан гідроекосистеми, проте якість води має більше залежностей як природного, так й антропогенного характеру.

## 6.2. Аналіз обмежень та ролі кліматичних чинників у моделюванні гідрохімічних показників.

Більшість побудованих квадратичних математичних моделей демонструють низький коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ), що є основним обмеженням цих моделей. Низький  $R^2$  вказує на те, що лише невелика частина варіацій гідрохімічних показників може бути пояснена змінами кліматичних чинників. Це означає, що вони не є ключовими рушійними силами, що визначають стан цих показників у Південному Бузі в межах Миколаєва.

Найнижчий  $R^2$  для заліза загального ( $R^2=0,127$ ), що вказує на дуже обмежений прямий вплив кліматичних чинників. Низький  $R^2$  для БСК<sub>5</sub> 0,176, сульфати ( $R^2=0,283$ ), мінералізація ( $R^2=0,288$ ), рН ( $R^2=0,354$ ), твердість ( $R^2=0,380$ ). Ці показники також значною мірою залежать від інших, некліматичних впливів. Помірний вплив спостерігається для нітратів ( $R^2=0,505$ ) та розчинного кисню ( $R^2=0,4484$ ), що свідчить про те, що для цих показників кліматичні чинники відіграють більш значущу, але все ще не вичерпну роль.

Вплив опадів є різноспрямованим. Так, для мінералізації та загального заліза спостерігається тенденція до зниження концентрації зі збільшенням опадів, що пояснюється ефектом розведення. Для БСК<sub>5</sub>, твердості, нітратів та сульфатів зі збільшенням опадів спостерігається тенденція до зростання показників, що може бути пов'язано зі змивом речовин (органічних, мінеральних солей, добрив) з поверхні ґрунту та сільськогосподарських угідь. Для розчиненого кисню опади мають позитивний лінійний вплив, що може бути пов'язано з додаванням свіжої, насиченої киснем води або збільшенням перемішування. Для рН опади мають тенденцію до незначного зниження значення, що логічно, оскільки дощова вода є слабокислою.

Для багатьох показників квадратичний член опадів є дуже малим або практично нульовим, що вказує на переважно лінійний або дуже слабкий нелінійний вплив опадів.

Температура повітря часто має параболічну залежність, що вказує на існування оптимальних або мінімальних значень. Для розчиненого кисню (оптимум  $\sim 2,12^{\circ}\text{C}$ , що може вказувати на складніші процеси, ніж лише фізична розчинність), для БСК<sub>5</sub> (оптимум  $\sim 12,44^{\circ}\text{C}$ , що відповідає оптимальній активності мікроорганізмів), для твердості (оптимум  $\sim 11,88^{\circ}\text{C}$ ), для загального заліза (оптимум  $\sim 12,8^{\circ}\text{C}$ ) та для нітратів (оптимум  $\sim 11,49^{\circ}\text{C}$ ) та для сульфатів (оптимум  $\sim 11,77^{\circ}\text{C}$ ) існує температура, при якій їхній рівень досягає максимуму.

Для рН та мінералізації спостерігається параболічна залежність, де показник досягає мінімуму при певній температурі (рН  $\sim 11,77^{\circ}\text{C}$ , мінералізація  $\sim 13,17^{\circ}\text{C}$ ), а потім починає зростати. Це відображає складну взаємодію фізико-хімічних та біологічних процесів, пов'язаних з температурою (наприклад, розчинність газів, випаровування, швидкість реакцій).

Коефіцієнт взаємодії між опадами та температурою повітря у більшості моделей є дуже малим або незначним, що свідчить про обмежений спільний ефект цих чинників. Виняток становить мінералізація та нітрати, де коефіцієнт взаємодії є відносно більшим, вказуючи на помітніший взаємодіючий вплив. Усі моделі чітко вказують на вплив інших, більш вирішальних чинників, що впливають на гідрохімічні показники, оскільки значна частина їхньої варіації не пояснюється кліматичними чинниками.

Вважаємо, що до цих вирішальних впливів належать: геологічні та гідрологічні особливості водозбору (тип ґрунтів і гірських порід особливо для мінералізації, твердості, сульфатів, рН, загального заліза); антропогенний вплив через скиди стічних вод (побутових, промислових, сільськогосподарських), корозія інфраструктури, зрошення, звалища, змив добрив (особливо для БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізації, твердості, загального заліза, нітратів, сульфатів); гідрологічний режим (швидкість течії, рівень води, інтенсивність випаровування), наявність флори та фауни, концентрація органічних речовин, активність мікроорганізмів тощо.

Отже, хоча кліматичні чинники мають певну роль і демонструють логічні, часто параболічні залежності з гідрохімічними показниками, їхній вплив є лише частиною складної системи. Для комплексного розуміння та прогнозування якості води у Південному Бугу необхідно враховувати значно ширший спектр природних та антропогенних чинників, що є предметом перспектив дослідження.

### **6.3. Рекомендації з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування в контексті впливу змін клімату.**

Визначені моделі чітко показали, що кліматичні чинники (опади та температура повітря) мають обмежену пояснювальну здатність для більшості гідрохімічних показників Південного Бугу. Це є вагомим доказом того, що ключову роль у формуванні якості води у річці в межах міста Миколаєва відіграє саме антропогенне навантаження. Миколаїв, як великий промисловий і портовий центр, генерує значні обсяги забруднень, які надходять до Південного Бугу. Тому фундаментальним кроком до поліпшення екологічного стану річки є системне та рішуче зменшення цього навантаження.

Модернізація очисних споруд та систем водовідведення:

- Необхідне глибоке біологічне очищення через повну реконструкцію та модернізацію існуючих міських очисних споруд. Це передбачає впровадження технологій глибокого біологічного очищення, що включають процеси нітрифікації та денітрифікації для видалення нітрогену, а також хімічне або біологічне видалення фосфору.

- Розгляд можливості використання очищених стічних вод для технічних потреб промисловості, поливу сільськогосподарських угідь або рекреаційних зон, що зменшить навантаження на річку та сприятиме раціональному водокористуванню.

- Впровадження автоматизованих систем контролю за якістю стічних вод на виході з очисних споруд та дистанційного моніторингу за процесами очистки для оперативного реагування на будь-які відхилення.

- Розробка та впровадження планів ліквідації аварійних ситуацій на колекторах та очисних спорудах, що мінімізує обсяги несанкціонованих скидів неочищених або недостатньо очищених стоків.

- Посилення контролю за дотриманням нормативів скиду для промислових підприємств. Кожне підприємство-забруднювач повинно мати ефективні локальні очисні споруди, що відповідають сучасним екологічним стандартам. Залежно від специфіки виробництва, це можуть бути фізико-хімічні, біологічні або комбіновані методи очищення для видалення специфічних забруднювачів (важких металів, нафтопродуктів, фенолів, хлорорганічних сполук).

- Стимулювання підприємств до впровадження найкращих доступних технологій, які дозволяють не лише очищати стічні води, а й мінімізувати їх утворення в процесі виробництва (безвідходні та маловідходні технології).

- Заохочення промисловості до переходу на замкнуті цикли водопостачання, що значно зменшує обсяги скидів та споживання свіжої води.

- Проведення незалежних екологічних аудитів підприємств для оцінки їхнього впливу на водні ресурси та визначення шляхів зменшення забруднення.

Дифузне забруднення, що надходить з великих площ водозбору (сільськогосподарські угіддя, урбанізовані території), є значним викликом, оскільки його важко контролювати. Тому рекомендуємо:

- Впровадження точного землеробства, яке передбачає внесення добрив та пестицидів у мінімально необхідних кількостях та у відповідний час, з урахуванням потреб ґрунту та культур. Це зменшує їх вимивання в річку.

- Формування вздовж річки та її приток, а також по периметру полів, захисних смуг з багаторічних трав, чагарників або дерев. Ці смуги діють як природні фільтри, затримуючи поверхневий стік, еродований ґрунт та забруднюючі речовини.

- Впровадження протиерозійних агротехнічних прийомів (контурна оранка, терасування, смугове землеробство, мінімальний обробіток ґрунту) для запобігання змиву ґрунту та пов'язаних з ним забруднень.

- Будівництво та модернізація сховищ для гною, компостування органічних відходів, що запобігає надходженню біогенних елементів до водних об'єктів.

За умов урбанізованих територій набуває необхідності:

- Розробка та впровадження систем очищення поверхневого (дощового) стоку з міських територій. Це можуть бути локальні очисні споруди для зливових вод, використання так званих "зелених" інфраструктурних рішень (біодренажні канали, дощові сади, пористі покриття), які затримують та фільтрують воду перед її потраплянням до річки.

- Забезпечення ефективної системи збору, сортування, переробки та безпечного захоронення ТПВ для запобігання їх потраплянню у водойми. Ліквідація несанкціонованих сміттєзвалищ.

- Зменшення забруднення річки нафтопродуктами, важкими металами та іншими речовинами, що змиваються з доріг. Це може включати встановлення уловлювачів нафтопродуктів та модернізацію систем зливової каналізації.

- Розробка та впровадження планів реагування на розливи небезпечних речовин на промислових об'єктах та у портовій зоні. Забезпечення наявності необхідного обладнання для локалізації та ліквідації розливів (бонові загородження, сорбенти).

- Систематичне очищення акваторії порту та прилеглих ділянок річки від плаваючого сміття, нафтопродуктів та інших забруднень.

У світлі викладеного набуває актуальності впровадження заходів з екологічної освіти та підвищення обізнаності:

- Проведення широкомасштабних інформаційних кампаній для населення щодо важливості чистоти водних ресурсів, наслідків забруднення та способів його запобігання.

- Включення питань раціонального водокористування та охорони водних ресурсів до освітніх програм на всіх рівнях (від дошкільної до вищої освіти).

- Стимулювання участі місцевих громад в акціях з очищення берегів річки, громадському моніторингу якості води, а також в обговоренні та прийнятті рішень щодо водних ресурсів.

- Розвиток культури ощадливого ставлення до води та навколишнього середовища серед усіх верств населення та суб'єктів господарювання.

Зменшення антропогенного навантаження є найбільш прямим та ефективним шляхом до поліпшення екологічного стану гідроекосистеми Південного Бугу. Це вимагає значних інвестицій, послідовної політики, суворого контролю та активної участі всього суспільства.

Висока зарегульованість Південного Бугу дамбами (приблизно "1 дамба на 10 км русла") глибоко змінює природний гідрологічний, гідробіологічний та геоморфологічний режими річки, створюючи значні екологічні виклики. Для її оздоровлення необхідний комплексний підхід:

Критично важливим є оптимізація режимів роботи водосховищ та гідроенергетичних об'єктів через перехід від експлуатації водосховищ виключно в інтересах енергетики чи водопостачання до забезпечення екологічних попусків (Environmental Flows). Це означає розробку та впровадження науково обґрунтованих графіків скидів води, які імітують

природні річкові цикли. Такі попуски повинні включати: "пульсові" попуски; підтримання базового стоку; контроль температурного режиму.

Необхідна гармонізація інтересів всіх водокористувачів для досягнення балансу між їхніми потребами та екологічними потребами річки.

Дамби фрагментують річку, створюючи непереборні перешкоди для міграції риби та вільного потоку води. На всіх ключових дамбах необхідно встановити ефективні рибоходи (різних типів, адаптованих до конкретних умов), що забезпечать прохідність для широкого спектру видів риби, включаючи прохідні та напівпрохідні.

Потрібна оцінка можливості часткового демонтажу дамб. Для застарілих або некритичних гідротехнічних споруд варто провести оцінку їхньої екологічної та економічної доцільності, розглядаючи можливість часткового демонтажу або створення великих проток для відновлення природного русла. Це дозволяє радикально оздоровити річку та повернути її до природного стану. Дамби затримують природний потік наносів (піску, мулу), що призводить до замулення водосховищ вище дамб та ерозії русла нижче дамб. Це руйнує природні біотопи та місця нересту. Необхідно розробити стратегії для пропуску наносів через гідротехнічні споруди або їх штучного переміщення вниз за течією. У місцях критичного замулення можуть бути потрібні днопоглиблювальні роботи, але їх слід проводити дуже обережно, з обов'язковим екологічним обґрунтуванням та контролем утилізації вилученого мулу.

Навколо водосховищ необхідно відновлювати прибережні захисні смуги та проводити лісорозведення. Це стабілізує береги, зменшує ерозію, фільтрує поверхневий стік забруднень та сприяє підтримці сприятливого температурного режиму води, що особливо важливо в умовах зміни клімату. Контроль за надмірним заростанням мілководь водосховищ дозволить покращити водообмін та зменшити евтрофікацію.

Вважаємо за доцільне необхідність розширення програми моніторингу, включивши показники, що безпосередньо відображають вплив дамб: динаміка температури води на різних глибинах, склад донних відкладень, структура водних біоценозів (риби, бентос, планктон) вище та нижче дамб, а також фіксація міграцій риб.

Оздоровлення Південного Бугу, враховуючи його високу зарегульованість, вимагає довгострокового та багатоаспектного підходу, що включає технічні рішення, наукову підтримку та зміни в управлінській практиці.

Зміни клімату є однією з найсерйозніших глобальних загроз 21-го століття, що безпосередньо впливає на водні ресурси, їхній об'єм, якість та розподіл. Хоча наші моделі показали, що лише температура повітря та кількість опадів мають обмежену пояснювальну здатність для багатьох гідрохімічних показників Південного Бугу, опосередкований та довгостроковий вплив кліматичних змін на гідроекосистему є беззаперечним та вимагає системної адаптації.

Підвищення температури води призводить до зниження розчинності кисню, що може погіршити кисневий режим річки, особливо в період літньої межени та за наявності органічного забруднення. Це створює сприятливі умови для розвитку анаеробних процесів, вивільнення токсичних сполук з донних відкладень (наприклад, сульфідів, аміаку, заліза у розчинній формі), а також інтенсифікації евтрофікації та "цвітіння" води.

Зміна температурного режиму може спричинити зсув ареалів проживання видів риб та інших гідробіонтів, зменшення біорізноманіття, збільшення поширеності тепловодних інвазійних видів.

Прогнозується збільшення кількості та інтенсивності зливових опадів, а також більш тривалі періоди посух. Інтенсивні зливи призводять до посилення поверхневого стоку, що несе до річки значну кількість забруднюючих речовин з сільськогосподарських угідь (нітрати, фосфати, пестициди), урбанізованих територій (нафтопродукти, важкі метали, завислі речовини) та промислових

зон. Це може спричинити "шокове" забруднення, різке погіршення якості води та збільшення каламутності. Довготривалі посухи, навпаки, зменшують об'єм стоку, що призводить до зниження рівня води в річці, уповільнення течії, збільшення часу водообміну та концентрації забруднюючих речовин через зменшення ефекту розведення. Це також може посилити евтрофікацію та сприяти "цвітінню" водоростей.

Зменшення стоку під час посух безпосередньо загрожує сталості водозабезпечення населення, промисловості та сільського господарства в регіоні.

Повені, тривалі посухи, сильні вітри та шторми можуть руйнувати берегові лінії, викликати ерозію, пошкоджувати водозабірні та очисні споруди, інфраструктуру, що призводить до неконтрольованих скидів забруднень та перебоїв у водопостачанні.

Екстремальні події можуть спричинити масову загибель риби, руйнування біотопів та погіршення екологічного стану річки.

Адаптація до змін клімату в управлінні водними ресурсами Південного Бугу повинна бути багатовекторною і включати інфраструктурні, природно-орієнтовані, політичні та дослідницькі підходи.

Виділяємо ключові позиції щодо адаптації до змін клімату.

#### 1. Управління водним режимом та інфраструктурні рішення.

Оптимізація роботи водосховищ та гідровузлів через перегляд існуючих правил експлуатації водосховищ Південного Бугу з метою забезпечення оптимального режиму скидів для підтримки екологічного та санітарного стану річки в умовах змін стоку. Це може включати створення резервних ємностей, або, навпаки, перегляд об'ємів скидів для максимального розведення забруднень у періоди низької водності.

Модернізація водозабірних та водопровідних систем через ввпровадження енергоефективних технологій, зменшення втрат води у водопровідних мережах, диверсифікація джерел водопостачання (наприклад,

використання ґрунтових вод, опріснення солоних вод, якщо це економічно та екологічно доцільно, у довгостроковій перспективі) для підвищення стійкості до дефіциту води під час посух.

Розвиток систем збору та використання дощової води через впровадження міських програм зі збору дощової води (на дахах, у резервуарах) для технічних потреб, поливу або поповнення ґрунтових вод.

## 2. Природно-орієнтовані рішення (Nature-Based Solutions - NBS).

Відновлення річкових заплавл та водно-болотних угідь через заплави та болота є природними губками, що акумулюють воду під час повеней і поступово віддають її у річку в періоди посух, а також виконують функцію природних фільтрів, затримуючи забруднення. Їх відновлення покращує якість води, регулює стік та підвищує біорізноманіття.

Лісорозведення та відновлення прибережних захисних смуг через створення або відновлення лісових насаджень вздовж річки та її приток запобігає ерозії ґрунту, фільтрує поверхневий стік, зменшує надходження забруднень та сприяє підтримці сприятливого температурного режиму в прибережній зоні.

Заходи зі збереження ґрунту та підвищення його водоутримуючої здатності через впровадження агроекологічних практик (мінімальний обробіток ґрунту, сівозміни, використання сидеральних культур), що підвищують вміст органічної речовини в ґрунті, покращуючи його здатність поглинати та утримувати воду.

Адаптація до змін клімату вимагає довгострокового стратегічного планування, значних інвестицій та широкої співпраці між усіма зацікавленими сторонами. Це не просто питання екології, а й забезпечення сталого економічного розвитку та соціального добробуту регіону.

## 3. Інтегрований менеджмент водних ресурсів (ІМВР) та стале (збалансоване) природокористування.

Низький вплив кліматичних чинників у наших моделях гідрохімічних показників Південного Бугу підкреслює критичну необхідність застосування

принципів інтегрованого менеджменту водних ресурсів (ІМВР). ІМВР – це процес, який сприяє скоординованому розвитку та управлінню водними, земельними та суміжними ресурсами з метою максимізації економічного та соціального добробуту таким чином, щоб це не ставило під загрозу стійкість життєво важливих екосистем. У контексті впливу змін клімату, ІМВР стає незамінним інструментом для забезпечення стійкості та адаптації водних ресурсів.

За умов дефіциту водних ресурсів, що посилюється посухами, ІМВР дозволяє розробити справедливі та ефективні механізми розподілу води між різними водокористувачами, мінімізуючи конфлікти та забезпечуючи пріоритетність водопостачання населення. Заходи, що передбачаються ІМВР (відновлення заплав, контроль забруднення, екологічний моніторинг), підвищують природну стійкість річки до стресів, спричинених зміною клімату. Здорова екосистема краще справляється з екстремальними подіями та антропогенним навантаженням.

### **Висновки до шостого розділу**

Побудовано математичні моделі для гідрохімічних показників (розчинений кисень, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізація, твердість, загальне залізо, нітрати, сульфати) залежно від кліматичних чинників таких, як: кількість опадів та температура атмосферного повітря.

Визначено, що загальною тенденцією для більшості досліджених гідрохімічних показників є те, що кількість опадів та температура повітря, хоча й мають певний вплив, не є ключовими, щодо впливу на стан гідроекосистеми. Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) для більшості моделей виявився низьким: залізо загальне ( $R^2=0,127$ ); БСК<sub>5</sub> ( $R^2=0,176$ ); сульфати ( $R^2=0,283$ ); мінералізація ( $R^2=0,288$ ); рН ( $R^2=0,354$ ); твердість ( $R^2=0,380$ ). Дещо помітніший вплив на нітрати та розчинений кисень. Моделі для нітратів ( $R^2=0,505$ ) та розчиненого кисню ( $R^2=0,4484$ ) показали дещо вищі значення

коефіцієнтів детермінації. Це логічно з огляду на біологічні та фізичні процеси (наприклад, змив нітратів з угідь під час опадів, вплив температури на розчинність кисню та біологічну активність).

Низькі значення  $R^2$  для більшості моделей однозначно вказують на існування інших, більш вирішальних впливів, які визначають стан гідрохімічних показників. До них належать: геологічна будова водозбору (тип ґрунтів та гірських порід особливо для мінералізації, твердості та сульфатів); антропогенний вплив через скиди промислових, сільськогосподарських та побутових стічних вод, зрошення, засолення ґрунтів; гідрологічний режим (швидкість течії, рівень води) тощо.

Враховуючи обмежений прямий вплив кліматичних чинників, головним завданням щодо рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування є системне зменшення антропогенного навантаження.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах дослідження впливу кліматичних змін на стан водних ресурсів встановлено, що екологічна безпека означає стабільний стан водних екосистем, що гарантує якість і доступність води без шкоди для природи. Водночас екологічна небезпека пов'язана з ризиками деградації, забруднення та втрати водності, які посилюються через зміни клімату та антропогенний вплив. Уточнення цих понять є важливим для формування ефективних механізмів адаптації та інтегрованого управління водними ресурсами в умовах кліматичних викликів і для збереження екологічного балансу в басейнових системах. У процесі аналізу літературних джерел уточнено, що екологічна безпека водних ресурсів – це не лише відсутність забруднення, а й забезпечення сталого (збалансованого) функціонування водних екосистем, яке гарантує доступ до якісної води для різних потреб без шкоди для довкілля. Екологічна небезпека водних ресурсів – це стан або загроза порушення природної рівноваги, викликаний як антропогенними чинниками, так і змінами клімату (наприклад, зменшенням стоку, забрудненням, втратами біорізноманіття). Отже, уточнення полягає в розширенні трактувань, де враховується вплив кліматичних змін як ймовірного чинника виникнення ризиків, так і в пошуку шляхів забезпечення екологічної безпеки.

Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод в Україні та світі виявив значні відмінності та шляхи для гармонізації українського законодавства зі стандартами ЄС. Україна активно гармонізує своє законодавство щодо якості поверхневих вод із вимогами ЄС, зокрема Водною рамковою директивою, що передбачає перехід до басейнового принципу управління та вдосконалення моніторингу. Наприклад, стандарти ЄС часто є жорсткішими за українські щодо таких показників, як БСК та нітрати тощо.

Зміна клімату, спричинена переважно антропогенною діяльністю та викидами парникових газів, призводить до значного підвищення глобальної

температури. Показано, що у 2023 році глобальна середня температура була більш ніж на  $1,2^{\circ}\text{C}$  вищою за доіндустріальний час, а 2023 і 2024 роки стали найтеплішими в історії. Ці зміни викликають зміни у кількості й інтенсивності опадів, що призводить до почастишання екстремальних погодних явищ. Наслідки цих змін впливають на гідроекосистеми. В Україні також спостерігається ця тенденція. Узагальнено, що, зокрема на Миколаївщині, при порівнянні періодів 1961–1990 та 1991–2000 років зафіксовано приріст середньої температури на  $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ . Тому, для ефективного дослідження впливу зміни клімату на водні ресурси обрано такі ключові інтегровані параметри, як: температура атмосферного повітря та атмосферні опади, оскільки вони безпосередньо впливають на стан гідроекосистеми.

У дослідженні проаналізовано вплив кліматичних змін на водні екосистеми Миколаївської області з використанням даних екологічних паспортів, регіональних доповідей, статистичних збірників, матеріалів Держводагентства, супутникових платформ Google Earth Engine, Copernicus та Ventusky, а також власних експериментальних досліджень. Застосовано методи трендового аналізу, кореляцій та гідротермічного коефіцієнта Селянінова (ГТК).

Виявлено чітке підвищення середньорічної температури повітря в регіоні — на  $0,61^{\circ}\text{C}$  за десятиріччя у 1980–2024 роках, що перевищує глобальні показники. Зросла кількість спекотних днів і “тропічних ночей”, що свідчить про теплове навантаження на екосистеми. Кількість опадів зменшується, середні річні значення становлять 409–469 мм. Збільшується частота злив, при цьому ГТК вказує на дефіцит зволоження.

Фіксується аридизація південних територій, з наближенням клімату до напівпустельного типу. Такі зміни впливають на водні ресурси, викликають евтрофікацію, зниження водності та погіршення якості середовища, що є підґрунтям впровадження адаптаційних стратегій, оновлення моніторингу та раціонального управління водними ресурсами за умов кліматичних викликів.

Басейн Південного Бугу охоплює різні природні зони України, що зумовлює різноманіття кліматичних і гідрологічних умов. Температурні дані у межах Миколаєва свідчать про зростання мінімальних температур, з аномальним значенням  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  у 2021 році. Басейн є сильно зарегульованим — понад 8000 водойм, що спричиняє втрату весняного стоку, зниження швидкості течії та самоочищення. Визначено, що басейн сильно забудований і налічує понад 8000 ставків і водосховищ. Підраховано, що середня щільність водойм становить близько одного водосховища на кожні 10 км.

Показано, що поверхневі води характеризуються високою жорсткістю (до  $20\text{ мг-екв/дм}^3$ ) та евтрофікацією. Мінералізація води зростає в напрямку до гирла річки, що зумовлено накопиченням солей і розчинених речовин у нижній течії. Найвищі показники фіксуються у листопаді, після чого спостерігається поступове зниження взимку та навесні. Це пов'язано з особливостями гідрологічного режиму, збільшенням водного стоку в холодний період, що розбавляє концентрацію розчинених речовин. У планктоні переважають малочутливі до забруднення види (*Copepoda*, *Rotatoria*), іхтіофауна збіднена (бички, тарань).

На основі супутникових даних підтверджено негативні зміни через вивчення динаміки таких індексів: BLUE знизився з 0,113 до 0,084 (прозорість води), GREEN — 0,097–0,119 (розвиток водоростей), NDVI зріс із 0,132 до 0,165 (заростання берегів), що свідчить про посилення впливу евтрофікації, антропогенної дії та кліматичних змін на гідроекосистему.

Для дослідження впливу кліматичних чинників на стан поверхневих вод обрано вісім ключових гідрохімічних показників: розчинений кисень, БСК, мінералізація, рН, загальне залізо, твердість, сульфати та нітрати. Чотири з них (рН, БСК, мінералізація, твердість) є інтегрованими. Ці показники було обрано за критеріями чутливості до кліматичних змін, здатності демонструвати сезонні та річні коливання, відбиття змін у гідрологічному циклі, забезпечення

якмога повної екологічної ситуації та практичного значення для управління водними ресурсами.

Пункти спостережень у межах Миколаєва та області обиралися з урахуванням репрезентативності, просторового охоплення, антропогенного впливу, гідродинамічних умов, біологічного різноманіття, доступності та безпеки, а також наявності історії досліджень.

Визначено, що температура поверхневих вод є важливим індикатором кліматичних змін і по-різному впливає на гідрохімічні показники. Лінійні моделі показали слабкі закономірності, тоді як поліноміальні квадратичні моделі краще описують нелінійний характер залежності.

Коефіцієнт детермінації залежності показників від температури становить: розчинений кисень – 30%; БСК<sub>5</sub> – 33%; рН – 16%; мінералізація – 13%; твердість – 27%; загальне залізо – 2%; сульфати – 16%; нітрати – 10%.

Найбільш залежними від температури є розчинений кисень (30%) та БСК<sub>5</sub> (33%). Середній рівень залежності демонструють твердість (27%), рН (16%), мінералізація (13%) та сульфати (16%). Найменш залежними виявилися загальне залізо (2%) та нітрати (10%), що вказує на незначний вплив змін температури на ці показники.

Дослідження показало, що робочі гіпотези частково не підтвердилися. Хоча теоретично опади можуть впливати на якість води через розбавлення, змив органіки та хімічних речовин, статистичні моделі продемонстрували дуже низькі коефіцієнти детермінації ( $R^2$ ) для більшості показників. Так, для розчинного кисню, БСК<sub>5</sub>, рН, мінералізації, сульфатів, нітратів, загального заліза виявлено слабкі або відсутні залежності ( $R^2$  здебільшого  $< 0,05$ ). Винятком є твердість води, для якої кубічна модель показала відносно високу пояснювальну здатність ( $R^2 \approx 0,705$ ), що свідчить про наявність складної нелінійної залежності.

Низький вплив опадів пояснюється здатністю гідроекосистем до саморегуляції та переважанням інших факторів. Температура води, швидкість

течії, антропогенне забруднення, геологічна будова, сезонність та біологічні процеси мають суттєвіший вплив на хімічний склад води. Крім того, опади можуть діяти одночасно в протилежних напрямках — з одного боку, розбавляючи воду, з іншого — збагачуючи її забруднювачами, що нівелює загальний ефект. Таким чином, кількість опадів не є визначальним чинником для якості води Південного Бугу в межах Миколаївської області.

На основі математичних моделей, побудованих для гідрохімічних показників Південного Бугу в межах Миколаєва, встановлено, що кліматичні чинники – кількість опадів та температура повітря – мають обмежений вплив на більшість з них. Зокрема, коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) для моделей загального заліза (0,127), БСК<sub>5</sub> (0,176), сульфатів (0,283), мінералізації (0,288), рН (0,354) та твердості (0,380) виявився низьким. Це свідчить, що ці показники лише незначною мірою пояснюються змінами опадів та температури. Наприклад, для БСК<sub>5</sub> понад 82% варіацій залишаються поза впливом кліматичних чинників, вказуючи на домінуючу роль інших факторів, таких як концентрація органічних речовин від стічних вод та гідрологічний режим. Аналогічно, для рН та мінералізації, понад 64% та 71% варіацій відповідно, залежать від некліматичних факторів, включаючи геологічні особливості та антропогенне навантаження. Дещо помітніший вплив кліматичні чинники мають на розчинений кисень ( $R^2=0,4484$ ) та нітрати ( $R^2=0,505$ ), пояснюючи приблизно половину їхніх варіацій. Однак, навіть для цих показників, значна частина змін обумовлена іншими впливами, такими як рівень забруднення, гідрологічний режим, наявність флори та фауни, а також скиди стічних вод.

Отже, доведено, що стан гідроекосистеми Південного Бугу у межах Миколаєва значною мірою визначається не кліматичними чинниками, а антропогенними впливами та геологічними, гідрологічними особливостями водозбору, що стало ключовим підґрунтям щодо розробки рекомендацій з інтегрованого менеджменту водних ресурсів та сталого (збалансованого) природокористування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітична записка з питань порівняльного законодавства щодо законодавства ЄС у сфері якості води, водної політики та відновлення навколишнього природного середовища. – URL: <https://research.rada.gov.ua/uploads/documents/32859.pdf> (дата звернення 23.10.2024)
2. Балабух В.О., Малицька Л.В. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. Геоінформатика, 2017, 4(64), С. 5–20.
3. Балабух В.О., Малицька Л.В., Лавриненко О.М. Динаміка середньорічних показників температури повітря і кількості опадів в окремих ґрунтовокліматичних зонах України. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна монографія. Харків: Стильна типографія, 2018, С.14–44.
3. Баландюх Ю.А. Утилізація надлишкової біомаси гідробіонтів в технологіях біологічного очищення поверхневих вод : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2021. 22 с.
4. Безсонов Є.М. Визначення рівня екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2018. 21 с.
5. Бойко Т.В., Абрамова А.О. Оцінювання екологічних ризиків від впливів на навколишнє середовище техногенних об'єктів. Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2015, 4, 31–35. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi\\_2015\\_4\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2015_4_7) (дата звернення 25.02.2024)
6. Босак П.В. Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2021. 24 с.
7. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Коробкова Г.В. Визначення екологічних нормативів якості поверхневих вод з урахуванням прогнозних моделей та

регіональних особливостей, East European Scientific Journal, 2016, 8 (12). Volume 3, 5–13.

8. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Коробкова Г.В. Екологічне нормування якості поверхневих вод з врахуванням регіональних особливостей. Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія, 2017, 1 (44), 21–33.

9. Водні ресурси Миколаївської області. URL: <http://fishing-ua.org.ua/mykolaivska/> (дата звернення 22.07.2024).

10. Водний Кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, 189 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 10.12.2023).

11. Вронська Н.Ю. Зниження рівня бактеріального забруднення гідросфери комплексними фізико-адсорбційними методами очищення стічних вод : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2016. 21 с.

12. Геологічна будова Миколаївської області. URL: <http://kursak.net/geologichna-budova-mikola%D1%97vsko%D1%97-oblasti> (дата звернення 22.07.2024).

13. Грайновська І.В. Забезпечення екологічної безпеки при використанні металургійних шлаків в сорбційних технологіях очистки вод : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Суми, 2014. 28 с.

14. Григор'єва Л. І., Алексєєва А. О., Макарова О. В. Тритій у водних об'єктах району Южноукраїнської атомної електростанції. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2021. Vol. 22. С. 263–271. URL: <https://surl.lu/qwzxmz> (дата звернення: 08.02.2025).

15. Григор'єв К., Алексєєва А., Макарова О., Григор'єва Л. Оцінка показників радіоекологічного стану водних об'єктів за екосистемним принципом безпеки. Екологічні науки. 2023. № 2 (47). С. 76–83. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/2/21.pdf> (дата звернення: 08.02.2025).

16. Головне управління статистики у Миколаївській області. URL: <http://www.mk.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 10.04.2024).

17. Голодовська О.Я. Басейновий принцип управління екологічною безпекою Західного Бугу (на прикладі Львівської області) : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2019. 23 с.

18. Гребінь В. В., Хільчевський В. К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі, Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016, Т. 2, 32–47.

19. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. та ін. Гідрологія та гідрохімія Дніпра та його водосховищ. К. : Наукова думка. 1989. 216 с.

20. Департамент екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/home/> (дата звернення 9.04.2024).

21. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 10.04.2024).

22. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://davr.gov.ua/> (дата звернення 10.04.2024).

23. Долін В. В., Бобков В. М. Кінетика низхідного потоку води у насичений розсіл галіту : збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. Київ, 2014, Вип. 23, С. 123-130. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpigns\\_2014\\_23\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpigns_2014_23_21) (дата звернення 11.02.2024).

24. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року «Про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики». URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_962#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text) (дата звернення 5.12.2023).

25. Директива Ради 91/271/ЄЕС від 21 травня 1991 року про очищення міських стічних вод. URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_911#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_911#Text) (дата звернення 5.12.2023).

26. Екологічні паспорти Миколаївської області упродовж 2005–2025 років. URL : <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/ecopassport/> (дата звернення 9.04.2024).

27. Закон України «Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату». URL : [https://ips.ligazakon.net/document/view/z960435?ed=1996\\_10\\_29](https://ips.ligazakon.net/document/view/z960435?ed=1996_10_29) (дата звернення 26.03.2024).

28. Закон України «Про ратифікацію Паризької угоди». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19#Text> (дата звернення 26.03.2024).

29. Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text> (дата звернення 26.03.2024).

30. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 26.03.2024).

31. Закон України «Про енергетичну ефективність». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення 26.03.2024).

32. Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики». URL : <http://surl.li/fysbhu> (дата звернення 9.10.2024).

33. Звіт досліджень якості поверхневих вод у межах міста Миколаєва та води з мережі централізованого водопостачання міста Миколаєва за підтримки програми розвитку ООН. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення 26.09.2024).

34. Крайнюкова А. М. Особливості нормування якості поверхневих вод в Україні та країнах ЄС. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Екологія". 2017, 16. С. 18–21.

35. Калмикова Ю.С. Зниження антропогенного впливу на навколишнє середовище шляхом переробки відвальних доменних шлаків : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Харків, 2015. 21 с.

36. Кліматичний закон №11310. 2024. – URL : <https://www.kmu.gov.ua/news/klimatychnyi-zakon-11310-pryiniaty-u-pershomu-chytanni-mindovkillia> (дата звернення 23.10.2024).

37. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / [С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового, Одеса: “ТЕС”, 2015, 520 с.

38. Кліматичні смуги. – UPL : <https://showyourstripes.info/s/europe/ukraine> (дата звернення 17.07.2025).

39. Колісник А.В. Антропогенні фактори формування якості річкових вод в межах Вінницької області : автореф. дис. канд. тех. наук : 11.00.11. Одеса, 2013. 21 с.

40. Крисінська Д.О. Оцінювання рівня екологічної безпеки питного водопостачання : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2021. 25 с.

41. Клімат України / за редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ, 2003. 343 с.

42. Малицька Л.В. Дискомфорт погодних умов зимового періоду в Україні. Український гідрометеорологічний журнал. 2017, 20, С. 26–36.

43. Масікевич Ю Г., Масікевич А. Ю. Гігієнічна якість води в річках Буковинських Карпат як показник екологічної безпеки регіону. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2014, № 3–4, С. 104–108.

44. Мітрясова О. П. Хімічна екологія: навч. посібник: видання 2-е, виправлене та доповнене. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2016, 318 с.

45. Мітрясова О.П., Смирнов В.М., Марійчук Р.Т., Чвир В.А. Європейські зелені виміри: навч. посібник / за редакцією проф. Олени Мітрясової. Миколаїв : ЧНУ імені Петра Могили, 2024. 471 с.

46. Мітрясова, О., Мац, А., Чвир, В., & Смирнов, В. Порівняльний аналіз нормативів якості атмосферного повітря і поверхневих вод в Україні та ЄС. Екологічна безпека та природокористування. 2025, 52(4), 28–44.

47. Милянник О.В. Екологічне безпечне адсорбційне очищення промислових стоків від іонів купруму та хрому : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2018. 21 с.

48. Миколаївська обласна військова адміністрація. URL : <https://www.mk.gov.ua/> (дата звернення 9.04.2024).

49. Миколаївська обласна рада. URL : <https://www.mk-oblrada.gov.ua/> (дата звернення 9.04.2024).

50. Наближення законодавства України до регламентів ЄС в довкілєвій і кліматичній сфері : аналітична запискаю. Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля», 2024, 31 с.

51. Назарук М.М., Бота О.В. Дослідження екологічних ризиків як ключовий елемент оцінки впливу на довкілля. Man and Environment. Issues of Neoeology. 2020, 34, С. 100–107. URL : <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/16688/15398> (дата звернення 25.02.2024).

52. Некос В.Ю., Некос А.Н., Сафранов Т.А.. Загальна екологія та неоекологія : підручник для студентів екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. 596 с.

53. Німець Н.М. Підвищення екологічної безпеки повернення супутньо-пластових вод у надра нафтогазоконденсованих родовищ з вилученням йоду : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Харків, 2019. 22 с.

54. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року (затв. Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 20.11.2023).

55. Петрук В.Г., Васильківський І.В., Петрук Р.В., Сакалова Г.В., Крусір Г.В., Клименко М.О., Кватернюк С.М. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 298 с.

56. План управління річковим басейном Південного Бугу 2025-2030 роки. URL: [https://davr.gov.ua/fls18/tu/RBMP\\_South\\_Bug/purb\\_sb.pdf](https://davr.gov.ua/fls18/tu/RBMP_South_Bug/purb_sb.pdf) (дата звернення 24.07.2024).

57. Погребенник В.Д. Гідрохімічні дослідження Шацьких озер (методи, засоби, результати). Львів : СПОЛОМ, 2008. 144 с.

58. Погребенник В.Д. Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів. Львів : СПОЛОМ, 2011. 280 с.

59. Погребенник В.Д., Шибанова А.М., Політило Р.Д. Гідроекологія : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 200 с.

60. Пономаренко Р.В. Науково-теоретичні основи прогнозування техногенного впливу на гідросферу при басейновому управлінні водними ресурсами України: автореф. дис. док. тех. наук : 21.06.01. Суми, 2020. 47 с.

61. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 179 «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення 25.03.2024).

62. Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 р. № 371. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-%D1%80#Text> (дата звернення 5.12.2023).

63. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : Наказ МООЗ від 2 травня 2022 р. № 721. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення 2.12.2023).

64. Про затвердження державних санітарних правил планування та будови населених пунктів : Наказ МОЗ від 19 червня 1996 р. №173. URL : [https://zakononline.com.ua/documents/show/170205\\_\\_\\_522407](https://zakononline.com.ua/documents/show/170205___522407) (дата звернення 6.12.2023).

65. Про затвердження Плану управління річковим басейном Південного Бугу на 2025–2030 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 20 груд. 2024 р. № 1405. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1405-2024-%D0%BF> (дата звернення: 09.02.2025).

66. Радіонов М.П. Нітрифікація як екологічний чинник взаємовпливу водних об'єктів та пов'язаних з ними споруд водокористування: дис. на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія». Харків, 2021, 166 с.

67. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища Миколаївської області упродовж 2005–2022 років. URL : <https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/> (дата звернення 9.04.2024).

68. Регіональний офіс водних ресурсів Миколаївської області. URL : <https://mk-vodres.davr.gov.ua/> (дата звернення 10.04.2024).

69. Річкові басейни Європи: Credit to GrasshopperGeography URL : <https://www.grasshoppergeography.com/> (дата звернення 19.04.2024).

70. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2021 № 1363-р «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 25.03.2024).

71. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 № 868 «Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 24.03.2024). URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 23.03.2024).

72. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року». URL : <https://ips.ligazakon.net/document/kr230373> (дата звернення 25.03.2024).

73. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 № 1803 «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року».

74. Тараймович І. В., Совгіра С. В., Душечкіна Н. Ю. Водні ресурси України під загрозою: вплив війни на якість питної води та екосистеми річок. Екологічні науки. 2025. Вип. 59. С. 187–191. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2025/59/30.pdf> (дата звернення: 28.01.2026).

75. Телюра Н. О. Підвищення екологічної безпеки евтрофованих водних об'єктів шляхом впровадження пріоритетних технологій водовідведення в населених пунктах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Харків, Н.-д. установа "Укр. НДІ екол. проблем", 2019, 20 с.

76. Сафранов Т.А., Адаменко Я.О., Приходько В.Ю., Шаніна Т.П., Чугай А.В., Колісник А.В. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Підручник. Одеса: Екологія, 2015. 244 с.

77. Середа А.С. Двостадійне очищення інфільтратів сміттєзвалищ в аеробних лагунах та міських очисних спорудах : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2018. 22 с.

78. Синельников О.Д. Забезпечення екологічної безпеки водосховищ шляхом використання мікрководоростей для виробництва енергоносіїв : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2016. 21 с.

79. Смирнов В.М. Формування поля забруднення донних відкладів Бузького лиману важкими металами : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.01. Київ, 2010. 20 с.

80. Сніжко, С. І. Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем, К.: Ніка-Центр, 2004, 394 с.

81. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України : (резюме дослідження) / за ред. С.С. Садогурської. Київ : «Екодія», 2021, 32 с.

82. Совгіра С., Кочубей О., Душечкіна Н. Глобальні наслідки накопичення важких металів у прісноводних екосистемах. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2025. Вип. 2. С. 112–117. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-2-14> (дата звернення: 28.01.2026).

83. Туз Р. В. Глобальні зміни клімату та їх вплив на стан водних ресурсів Миколаївської області. Збережемо для нащадків : матеріали XV Миколаївських міських екологічних читань, м. Миколаїв, 30 листопада 2022 р. Миколаїв, Управління екології департаменту ЖКГ Миколаївської міської ради, Миколаївський міський центр екологічної інформації та культури [та ін.]. Миколаїв, 2023, С. 88–91.

84. Указ Президента України від 30.09.2019 № 722 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 25.03.2024).

85. Чугай А.В., Сафранов Т.А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля: навч. посіб. Одеса: Видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.

86. Чугай А.В. Науково-методологічні засади комплексної оцінки техногенного навантаження на поліфункціональні території (на прикладі Північно-Західного Причорномор'я): дис. на здобуття наукового ступеня д-ра т. наук: 21.06.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ. 2020. 368 с.

87. Шмандій В.М., Голік Ю.С., Клименко М.О., Прищепя А.М., Бахарев В.С., Харламова О.В. Екологічна безпека : підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 290 с.

88. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Управління річковими басейнами: навч. посібник. К. : ДІА, 2024. 236 с.

89. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрологія та гідрохімія: навч. посібник. К.: ДІА, 2025, 352 с.
90. Хільчевський В. К. Водна політика: світові тенденції, стан в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2023. №4(7). С. 6–22.
91. Хільчевський В.К. Управління транскордонними водними ресурсами: навч. посібник. – К.: ДІА, 2024, 208 с.
92. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Карпюк З.К. Гідрохімія: навчально-методичний комплекс. К.: ДІА, 2025. 244 с. ISBN 978-617-7785-57-5
93. Шевченко О. та ін. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Київ, 2014. 74 с. URL: [https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine\\_cc\\_vulnerability.pdf](https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf) (дата звернення: 10.07.2024).
94. 2030 Climate and Energy Framework. URL: <https://www.iea.org/policies/1494-2030-climate-and-energy-framework> (date of access: 19.03.2024).
95. ADAPT–Climate. URL: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/> (date of access: 20.03.2024).
96. April 2024 – 11th consecutive warmest month globally. URL: <http://surl.li/tsbdm> (date of access: 16.05.2024).
97. Atmospheric air temperature as an integrated indicator of climate change / A. Mats, O. Mitryasova, I. Salamon, A. Kochanek. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2025. Vol. 26, Iss. 3. P. 352–360. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/200307> (date of access: 14.11.2025).
98. Buono R., Gunn E. L., McKay J., Staddon C. Regulating Water Security in Unconventional Oil and Gas. Springer International Publishing, 2019. 330 p.
99. Clean Water Act (CWA). URL: [https://www.law.cornell.edu/wex/clean\\_water\\_act\\_cwa](https://www.law.cornell.edu/wex/clean_water_act_cwa) (date of access: 8.12.2023).

100. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers. URL: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)

(дата звернення: 20.04.2024).

101. Copernicus Climate Data Store. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/> (date of access: 18.03.2024).

102. Copernicus Interactive Climate Atlas. URL: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas> (дата звернення: 20.07.2024).

103. Decision No 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2009/406/oj> (date of access: 3.03.2024).

104. Directive 2008/105/EEC of the European Parliament and of the Council on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0105> (date of access: 5.12.2023).

105. Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A31975L0440> (date of access: 6.12.2023).

106. Effluent Guidelines. URL: <https://www.epa.gov/eg> (date of access: 8.12.2023).

107. Empinotti V. L., Budds J., Aversa M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. *Geoforum* 98. 2019. P. 46–54. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718518302823> (date of access: 24.02.2024).

108. EU Adaptation Strategy. URL: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy_en) (date of access: 20.03.2024).
109. EURO-CORDEX – Coordinated Downscaling Experiment - European Domain. URL: <https://www.euro-cordex.net/index.php.en> (date of access: 10.03.2024).
110. EUROPE'S EYES ON EARTH. URL: <https://www.copernicus.eu/en> (date of access: 1.04.2024).
111. Galli A., Antonelli M., Wambersie L. et al. EU-27 ecological footprint was primarily driven by food consumption and exceeded regional biocapacity from 2004 to 2014. *Nature Food*. 2023. Vol. 4. P. 810–822. URL: <https://www.nature.com/articles/s43016-023-00843-5> (date of access: 24.02.2024).
112. Google Earth Engine (GEE). URL: <https://earthengine.google.com/> (дата звернення: 20.11.2024).
113. Green Paper on a 2030 framework for climate and energy policies. URL: <https://ease-storage.eu/publication/green-paper-on-a-2030-framework-for-climate-and-energy-policies/> (date of access: 19.03.2024).
114. IPCC Glossary. URL: <https://www.ipcc.ch/apps/glossary/> (date of access: 18.03.2024).
115. IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced). URL: <http://surl.li/rrfvj> (date of access: 18.03.2024).
116. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата звернення: 19.04.2024).
117. Kapelewska J., Kotowska U., Karpińska J. et al. Water Pollution Indicators and Chemometric Expertise for the Assessment of the Impact of Municipal Solid Waste Landfills on Groundwater Located in Their Area. *Chemical Engineering Journal*. 2019. Vol. 359. P. 790–800.
118. Keeler B. L., Hamel P., McPhearson T. et al. Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature. *Nature Sustainability*.

2019. Vol. 2. P. 29–38. URL: <https://www.nature.com/articles/s41893-018-0202-1> (date of access: 24.02.2024).

119. Kyoto Protocol to the United Nations framework Convention on Climate Change. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (date of access: 4.03.2024).

120. LIFE Programme. URL: [https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life\\_en](https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en) (date of access: 20.03.2024).

121. Living planet report 2024. URL: [https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/living\\_planet\\_report\\_2024\\_full-report-en.pdf](https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/living_planet_report_2024_full-report-en.pdf) (date of access: 31.10.2024).

122. Mats A. Study of the overregulation of the Southern Buh river. *Journal Environmental Problems*. 2024. Vol. 9(4). P. 235–240. URL: <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-4-2024/study-overregulation-southern-buh-river> (date of access: 20.10.2025).

123. Meyer A. M., Klein C., Fünfroeken E., Kautenburger R., Beck H. P. Real-time Monitoring of Water Quality to Identify Pollution Pathways in Small and Middle Scale Rivers. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 651. P. 2323–2333.

124. Murmylo R. Climate Change and Fluctuations at the Global and Regional Level: Scenarios and Their Consequences. *Proceedings of the International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century*, September, 9–11, 2021. Mykolaiv: PMBSNU, 2021. P. 56. URL: [https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/ABSTRACTS\\_PMBSNU\\_Forum\\_2021\\_09\\_09-11.pdf](https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/ABSTRACTS_PMBSNU_Forum_2021_09_09-11.pdf) (date of access: 28.03.2024).

125. National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES). URL: <https://www.epa.gov/npdes> (date of access: 8.12.2023).

126. Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Szymańska M. et al. Patterns of Salinity Regime in Coastal Lakes Based on Structure of Benthic Invertebrates. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13(11). e0207825.

127. Ohio River Valley Water Sanitation Commission: POLLUTION CONTROL STANDARDS for Discharges to the Ohio River 2019 Revision. URL: <https://www.orsanco.org/wp-content/uploads/2019/06/Final-Standards-Doc-2019-Revision.pdf> (date of access: 8.12.2023).

128. Ohio Surface Water Quality Standards. 2020. 303 p. URL: [https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-11/AK-HHC-DEC-Correspondence-11-1-2022-Attachment\\_0.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-11/AK-HHC-DEC-Correspondence-11-1-2022-Attachment_0.pdf) (date of access: 9.12.2023).

129. Othman F., Eldin A., Mohamed M. E. I. Trend analysis of a tropical urban river water quality in Malaysia. *J. Environmental Monitoring*. 2012. Vol. 14(12). P. 64–73. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23128415/> (date of access: 24.02.2024).

130. Prevention of contamination of the Southern Bug River with nitrogen compounds using constructed wetlands / S. Kvaterniuk, S. Mandebura, D. Latusha et al. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2025. Vol. 16, № 1. P. 89–97. DOI: <https://doi.org/10.63341/esbur/1.2025.89> (date of access: 08.12.2025).

131. Rainfall Regime Shifts as a Proxy for Hydrological Climate Change Vulnerability / A. Mats, O. Mitryasova, I. Salamon et al. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2025. Vol. 27. P. 738–745. DOI: <https://doi.org/10.54740/ros.2025.059> (дата звернення: 08.01.2026).

132. Resolution of the Mayor and the City Council. URL: <https://www.hialeahfl.gov/DocumentCenter/View/1610/Resolution-2015-103-PDF> (date of access: 20.03.2023).

133. Restoration of The Southern Bug River Ecosystem by Removing the Biomass of Higher Water Plants / S. M. Kvaterniuk, V. G. Petruk, V. F. Frolov et al. *International Journal of Conservation Science*. 2021. Vol. 12. Special Issue 1. P.

755–764. URL: [http://ijcs.ro/public/IJCS-21-56\\_Kvaterniuk.pdf](http://ijcs.ro/public/IJCS-21-56_Kvaterniuk.pdf) (date of access: 08.12.2025).

134. Roadmap 2050 – Energy – European Commission. URL: [suspicious link removed] (date of access: 19.03.2024).

135. Schickele A., Leroy B., Beaugrand G., Francour P., Raybaud V. Modelling European Small Pelagic Fish Distribution: Methodological insights. *Ecological Modelling*. 2020. Vol. 416. 108902.

136. Shmandiy V. M., Kharlamova O. V., Rigas T. E. Ecological safety performance in the Kremenchuk industrial region under action of induced earthquakes. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. № 5. P. 115–121.

137. Siple P. A., Passel C. F. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 1945. Vol. 89(1). P. 177–199.

138. State of Ohio Water Quality Standards, OAC Chapter 3745-1. URL: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/oh\\_34751\\_1\\_to\\_40.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/oh_34751_1_to_40.pdf) (date of access: 9.12.2023).

139. Staddon C. Managing Europe's Water Resources: Twenty-first Century Challenges. UK: University of the West of England, 2016. 279 p.

140. Staddon C., Ward S., De Vito L. et al. Contributions of green infrastructure to enhancing urban resilience. *Environment Systems and Decisions*. 2018. Vol. 38. P. 330–338.

141. Summary of the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (Superfund). 1980. URL: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-comprehensive-environmental-response-compensation-and-liability-act> (date of access: 9.12.2023).

142. Surface air temperature. URL: <https://pulse.climate.copernicus.eu/> (date of access: 1.04.2024).

143. Sušnik J., Staddon C. Evaluation of Water-Energy-Food (WEF) Nexus Research: Perspectives, Challenges, and Directions for Future Research JAWRA. *Journal of the American Water Resources Association*. 2022. Vol. 58(6). P. 1189–1198.

144. Tan L., Yang P., Lin X. et al. Latitudinal responses of wetland soil nitrogen pools to plant invasion and subsequent aquaculture reclamation along the southeastern coast of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 363. 108874. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108874> (дата звернення: 25.02.2024).

145. Tang L., Zhang L., Yang P. et al. Seasonal variations in source-sink balance of CO<sub>2</sub> in subtropical earthen aquaculture ponds: Implications for carbon emission management. *Journal of Hydrology*. 2023. Vol. 626. 130330. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130330> (дата звернення: 25.02.2024).

146. Terminologies Used in Climate Change, 2011. URL: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2011-118.pdf> (дата звернення: 26.03.2024).

147. The EU Strategy on adaptation to climate change. URL: [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/eu\\_strategy\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/eu_strategy_en.pdf) (date of access: 20.03.2024).

148. The Paris Agreement. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (date of access: 8.03.2024).

149. Toxic Substances Control Act (TSCA) and Federal Facilities. 1976. URL: <https://www.epa.gov/enforcement/toxic-substances-control-act-tsca-and-federal-facilities> (date of access: 9.12.2023).

150. UN Framework Convention on Climate Change – UNFCCC. URL: <https://enb.iisd.org/negotiations/un-framework-convention-climate-change-unfccc> (date of access: 15.03.2024).

151. UN Framework Convention on Climate Change. URL: <https://unfccc.int/> (date of access: 11.03.2024).

152. Ventusky. URL: <https://www.ventusky.com/uk/mykolayiv> (date of access: 20.11.2024).

153. WHITE PAPER: Adapting to climate change: Towards a European framework for action. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF> (date of access: 20.03.2024).

154. WMO Provisional State of the Global Climate 2024. WMO, 2024. URL: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22156#.Y4csiHbP02z](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22156#.Y4csiHbP02z) (дата звернення: 29.12.2024).

155. World Economic Forum Annual Meeting, Davos-Klosters, Switzerland 21–24 January 2020. URL: <https://www.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2020/> (date of access: 17.08.2024).

156. WWF Всесвітній фонд природи WWF / Жива планета-2024. URL: <http://surl.li/asmzrm> (дата звернення: 31.10.2024).

## Додаток А

**Температура повітря (середня за рік, максимальна, мінімальна) та річна кількість опадів в м. Миколаїв у період з 1980 по 2024 р (за даними спостережень авіаметеорологічної станції Миколаїв)**

Рік	Середня річна температура повітря, °С	Максимальна за рік температура повітря, °С	Мінімальна за рік температура повітря, °С	Річна кількість опадів, мм
1980	9,3	32,3	-15,0	567
1981	11,0	36,4	-10,0	602
1982	10,1	33,0	-14,0	373
1983	10,8	33,2	-14,0	341
1984	9,9	33,0	-13,0	502
1985	8,2	34,5	-22,0	569
1986	10,1	34,8	-16,3	397
1987	8,2	36,2	-21,2	391
1988	9,6	35,3	-18,1	561
1989	11,0	35,5	-16,0	334
1990	11,0	35,2	-16,5	415
1991	10,1	36,0	-19,8	331
1992	10,0	36,2	-14,6	265
1993	8,9	36,8	-16,7	431
1994	10,8	37,8	-22,5	258
1995	10,2	33,6	-17,2	455
1996	9,5	38,5	-21,6	353
1997	8,9	32,6	-23,6	637
1998	10,3	40,1	-18,6	428
1999	11,2	37,9	-16,4	400
2000	10,8	39,6	-23,0	357
2001	10,7	38,6	-18,8	462
2002	10,9	40,0	-18,1	368
2003	9,7	34,0	-20,6	413
2004	10,5	34,0	-15,8	562
2005	10,9	36,3	-16,0	494
2006	10,2	36,0	-25,9	352
2007	12,1	39,9	-17,6	338
2028	11,1	39,0	-16,0	441
2009	11,3	37,8	-20,1	386

2010	11,3	39,7	-24,5	652
2011	10,3	37,0	-18,4	304
2012	11,5	39,2	-24,1	360
2013	11,4	36,3	-18,1	361
2014	11,2	37,6	-20,9	395
2015	11,6	37,4	-21,0	393
2016	11,0	37,4	-21,3	573
2017	11,5	39,7	-16,5	264
2018	11,4	36,1	-18,0	396
2019	12,1	36,3	-14,0	390
2020	12,4	37,0	-8,3	334
2021	10,6	35,3	-20,4	693
2022	11,8	37,7	-13,6	347
2023	13,2	39,6	-9,4	464
2024	13,4	40,6	-9,3	451

## Додаток Б

## Температура води річки Південний Буг у межах міста Миколаєва

Рік	Середня температура за рік, °С	Максимальна температура за рік, °С	Мінімальна за рік температура за рік, °С
1980	10,7	26,4	0,0
1981	11,8	28,5	0,0
1982	11,7	26,6	0,0
1983	11,7	27,9	-0,2
1984	11,2	26,1	0,0
1985	10,5	26,6	0,0
1986	11,4	28,3	0,0
1987	10,2	27,0	-0,3
1988	11,1	27,6	0,0
1989	12,2	26,7	0,0
1990	12,5	28,5	0,0
1991	11,7	28,5	0,0
1992	11,2	28,0	-0,1
1993	10,9	28,6	-0,1
1994	12,0	26,1	0,0
1995	11,7	27,4	-0,2
1996	11,4	27,8	0,0
1997	10,9	26,6	0,0
1998	11,7	30,8	0,0
1999	12,1	29,7	0,0
2000	12,0	27,2	0,0
2001	12,7	29,2	0,0
2002	12,5	28,6	0,0
2003	11,6	26,8	0,0
2004	12,2	29,7	0,0
2005	12,4	30,5	0,0
2006	12,2	27,8	0,0
2007	13,1	28,6	0,0
2008	12,8	28,6	0,0
2009	12,8	29,6	0,0
2010	13,3	32,6	0,0
2011	12,4	30,6	0,0
2012	13,5	30,9	0,0
2013	12,6	31,0	0,0

2014	12,6	28,6	0,0
2015	12,8	28,2	0,0
2016	12,6	30,6	0,0
2017	12,9	30,0	0,0
2018	13,2	28,3	0,0
2019	13,6	27,8	0,0
2020	13,9	29,2	1,0
2021	12,8	30,0	0,0
2022	13,5	27,9	0,0
2023	14,0	29,0	0,0
2024	14,1	30,0	0,0

## Додаток В

### Перелік водосховищ в басейні Південного Бугу

№	Найменування Водосховища	Річка	Місце розташування греблі, населений пункт, район	Відстань від гирла, км	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Відмітка НІР, м БС	Площа дзеркала, га	Ємкість, млн. куб.м		Призначення	Рік вводу в експлуатацію
								Повна	Корисна		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Хмельницька область</b>											
1	Мар'янівське (заплавне)	П. Буг	с. Мар'янівка, Хмельницький р-н	773	276	287,5	105	1,4	1,4	риборозвед., рекреація	1958
2	Хмельницьке	П. Буг	м.Хмельницький	755	607	280,2	140	5,0	2,9	Водопост., рекреація	1956
3	Щедрівське	П. Буг	смт Летичів, Хмельницький р-н	692	2862	265,5	1290	25,2	11,5	Енергетика, риборозвед	1958
4	Новокостянтинівське	П. Буг	с.Новокостянтинів, Хмельниц. р-н	678	3018	261,0	254	2,65	2,0	Енергетика, риборозвед	1950
5	Наркєвічцьке	Мшанець	смт.Наркєвичі, Хмельницький р-н	8,5	64,0	298,75	115	2,3	2,3	водопост. рекреація	1957
6	Малашівецьке	Плоска	с. Малашівці, Хмельницький р-н	10,4	90,0	290,55	97,4	1,13	1,1	риборозвед., рекреація	1971
7	Шаровецьке (заплавне)	Плоска	м.Хмельницький	4,0	90,4	286,0	61,4	1,38	1,38	риборозвед., рекреація	
8	Ружичнянське (заплавне)	Самець	м.Хмельницький	8,0	67,0	289,25	78,2	1,33	1,3	риборозвед., рекреація	1947
9	Пирогівське	Зінчиця	с.Пирогівці. Хмельницький	2,2	110	276,4	82,0	1,8	1,8	риборозвед., рекреація	1966
10	Моломолинецьке (зап.)	Бужок	с.Моломолинці,Хмельницький	20,8	446	273,7	201	2,4	2,4	риборозвед., рекреація	1963
11	Анаставське верхнє (зап.)	Бужок	с.Ярославка, Хмельницький р-н	11,2	658	270,5	742	5,9	5,9	риборозвед., рекреація	1971
12	Анаставське нижнє (зап.)	Бужок	смт.Меджибіж, Хмельницький р-н	3,5	700	268,4	364	2,9	2,9	риборозвед., рекреація	1974
13	Немиринецьке (заплавне)	Іква	с.Немиринці Хмельницький р-н	40,0	116	284,8	192	1,54	1,54	риборозведення	1965
14	Жєнішкєвєцьке	Рів	с.Жєнішкєвіці, Хмельницький р-н	90	65	282,0	82	1,5	1,5	риборозведення	
15	Кантовецьке (заплавне)	Іква	с.Кантівка, Хмельницький р-н	31,0	176	278,8	218	2,0	2,0	Риборозвед., рекреація	1970
16	Новосинявське	Іква	с.Нова Синявка, Хмельницький р-н	4,5	499	263,5	238	2,0	2,0	риборозвед., рекреація	1972
17	Старосинявське (зап.)	Христосівка	смт.Стара Синява, Хмельницький р-н	3,0	42,2	277,7	71	1,5	1,5	риборозвед., рекреація	1975
18	Буцнянське	Згарок	с.Буцні, Хмельницький р-н	6,0	64,0	291,65	98	1,45	1,45	риборозвед., рекреація	1976
19	Руднянське	Вовк	с.Рудня, Хмельницький р-н	3,0	864	269,4	76	1,03	1,03	риборозведення	2011
<b>Всього по області</b>								<b>4505</b>	<b>64,4</b>	<b>47,9</b>	
<b>Вінницька область</b>											
1	Сандракське	П. Буг	с.Широка Гребля, Хмельницький	640	4240	243,8	168	1,3	0,2	енергетика, заказник	1961
2	Сабарівське	П. Буг	м. Вінниця	571	8960	233,5	290	8,6	1,8	енергетика, водопостач.	1952
3	Сутиське	П. Буг	смт. Сутиски, Тиврівський	537	10780	228,1	395	8,6	2,2	енергетика	1957
4	Брацлавське	П. Буг	смт.Брацлав, Немирівський	458	12340	189,0	130	3,3	0,3	енергетика	1951

5	Ладизинське	П. Буг	г.Ладизин, Тростянецький	400	13300	177,0	2187	150	39	енергетика,водопост.	1964
6	Глибочокське	П. Буг	с.Глибочок, Тростянецький	372	17130	151,7	338	10,7	4,2	енергетика, зрошення	1960
7	Чернятське	П. Буг	с.Чернятка, Бершадський	346	18700	137,5	140	3,3	2,8	Енергетика	1954
8	Воронівецьке	Снивода	с.Воронівці, Хмельницький	29,0	537	255,0	88,5	1,0	1,0	риборозведення	1963
9	Кривошійнське	Снивода	с.Кривошії, Хмельницький	21	653	247,5	88,5	1,0	0,9	риборозведення	1914
10	Пиківське верхнє	Снивода	с.Пиків, Калинівський	15,6	779	245,5	174	2,8	2,5	риборозведення	1977
11	Пиківське нижнє (заплав)	Снивода	с.Пиків, Калинівський	13,3	779	245,0	182	3,1	3,0	риборозведення,	1984
12	Жигалівське	Снивода	с.Жигалівка, Калинівський	8,0	852	242,0	89,8	1,1	0,9	риборозведення.	1914
13	Комунарівське	Постолова	с.Комунарівка, Калинівський	17,0	357	251,8	187	2,6	2,4	риборозведення	1883
14	Писарівське	Постолова	с.Писарівка, Калинівський	15,0	360	250,0	81,7	1,1	0,9	риборозведення	1898
15	Грушківецьке (заплавне)	Постолова	с.Грушківці, Калинівський	10,0	411	247,0	102	1,4	1,3	риборозведення	1971
16	Микулинецьке верх.(заплав)	Згар	с.Микулинці, Літинський	52,3	516	271,5	345	3,9	3,0	заказник	1978
17	Микулинецьке ниж. (заплав)	Згар	с.Микулинці, Літинський	48,5	516	271,0	359	4,6	4,4	риборозведення	1962
18	Петрикське	Згар	с.Петрик, Літинський	41,5	561	268,3	488	6,3	5,1	рекреація	1961
19	Бруслинівське	Згарок	с.Бруслинів, Літинський	5,0	271	251,8	114,7	1,3	1,3	риборозвед., рекреац	1980
20	Лозівське	Десна	с.Лозівка, Козятинський	63,0	284	256,0	94	1,4	1,2	риборозведення.	1961
21	Новогребельське	Десна	с.Нова Гребля, Калинівський	54,5	353	253,5	105	1,5	1,4	риборозведення.	1899
22	Староприлуцьке верх.(з)	Десна	с.Стара Прилука, Липовецький	39	533	247,2	89	1,3	1,1	риборозведення.	1975
23	Староприлуцьке ниж. (з)	Десна	с.Стара Прилука, Липовецький	36,0	533	247,0	87	1,1	1,0	риборозведення	1976
24	Турбівське	Десна	смт.Турбів Липовецький	28,0	856	243,8	144	1,5	1,2	водопост., рекреація	1892
25	Нове	Рів	с.Діброва Барський	72,3	133	275,5	70,8	1,4	1,1	риборозведення	1963
26	Барське	Рів	м. Бар	68,5	491	272,8	81,4	3,2	1,6	заказник	1960
27	Антонівське	Рів	с.Антонівка, Барський	55,0	620	269,5	187	2,5	2,4	протиерозійне, рекреац.	1980
28	Токарівське	Рів	с.Токарівка, Жмеринський	46,3	694	263,1	137	1,1	0,9	риборозвед.,рекреац.	1971
29	Сербинівське	Рів	с.Северинівка, Жмеринський	40,0	721	260,0	137	2,2	2,2	риборозвед., рекреац.	1954
30	Мартинівське	Рів	с.Межирів, Жмеринський	31,4	929	256,1	104	1,6	1,2	водопост., рекреац.	1972
31	Тартакське	Рів	с.Тартак, Жмеринський	23,0	980	252,5	92	1,3	1,35	риборозвед., рекреац.	1973
32	Браїлівське	Рів	смт.Браїлів, Жмеринський	16,6	1069	248,9	76	1,4	1,25	водопост., рекреація	1967
33	Гармакське	Ровок	с.Гармаки, Барський	4,7	277	278,7	188	3,0	2,7	риборозведення	1932
34	Кинашевське	Сільниця	с.Кинашів, Тульчинський	34,0	215	197,0	96	1,4	1,2	риборозв., зрошення	1986
35	Клебанське	Сільниця	с. Клебань Тульчинський	18,0	692	44,0 умов.	82,8	1,3	1,3	протиерозійне, риборозв.	1998
36	Кирнасівське	Козариха	с.Федьківка Тульчинський	4,0	220	199,5	60,4	1,0	1,0	риборозвед.,рекреація	2020
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	Іллінецьке	Соб	м. Іллінци	72,0	905	202,9	65	1,15	1,0	водопост., рекреація	1901
38	Дмитренківське	Соб	с.Дмитренки, Гайсинський	3,0	2830	170,0	385	11,1	7,1	енергетика	1953
39	Городківське	Сорока	с.Городок, Іллінецький	9,0	355	189,4	88,9	1,4	1,25	риборозведення	1909
40	Бершадське верхнє	Дохна	м. Бершадь	21,9	1092	161,5	81	1,25	1,0	водопост., рекреація	1960

41	Бершадське нижнє	Дохна	м. Бершадь	18,5	1108	160,0	88	1,4	1,1	водопост., рекреація	1959
42	Баланівське	Берладинка	с.Баланівка, Бершадський	6,0	631	169,5	346	5,8	3,9	риборозведення	1975
	<b>Всього по області</b>						<b>8833,5</b>	<b>266,3</b>	<b>116,6</b>		
<b>Одеська область</b>											
1	Савранське	П. Буг	смт.Саврань Савранський	288	20850	91,6	128	2,7	1,6	зрошення, рекреація	1950
2	Піщанське	Савранка	с.Піщана, Балтський	34	859	112,1	167	1,8	1,2	водопостач., рекреація	1961
3	Балтське (Перельотське)	Кодима	с.Перельоти, Балтський	100	655	110,5	172	3,9	3,2	Зрошення, риборозв.	1967
4	Заплазське	Кодима	с.Арчепитівка, Любашевський	86	1300	95,5	202	2,6	2,1	зрошення	1966
	<b>Всього по області</b>						<b>669</b>	<b>11,0</b>	<b>8,1</b>		
<b>Київська область</b>											
1	Брилівське	Гнилий Тікич	с.Брилівка, Ставищенський	6,5	141	102,1	110	1,6	1,5	риборозвед., рекреац.	1985
2	Веселокутське	Гнилий Тікич	с.Веселий Кут, Таращанський	121	610	169,5	338	1,8	1,7	зрошення, рекреація	1983
3	Великобerezнянське	Березянка	с.Велика Березянка, Таращ.	7,5	63,6	180,1	40	1,0	0,8	рекреація	1978
	<b>Всього по області</b>						<b>488</b>	<b>4,4</b>	<b>4,0</b>		
<b>Черкаська область</b>											
1.	Семенівське-2	Гнилий Тікич	с.Семенівка, Звенигородськ.	97			88	2,2	2,2	рекреація	1951
2	Лисянське	Гнилий Тікич	смт.Лисянка, Звенигородськ.	64	1530	151,3	139	5,0	3,9	енергетика, рекреац.	1953
3	Звенигородське	Гнилий Тікич	м.Звенигородка, Звенигородськ.	40	1760	132,4	370	7,25	6,9	енергетика, рекреація	1957
4	Стебнівське	Гнилий Тікич	с.Стебне, Звенигородський	124	2043	124,0	155	2,1	1,0	риборозвед, рекреац.	1972
5	Лоташівське	Гнилий Тікич	с.Лоташеве, Звенигородськ.	6	3140	112,1	124	3,3	3,1	Енергетика, рекреац.	1952
6	Семенівське-1	Свинотопка	с.Семенівка, Звенигородськ.	1,6	97	176,0	49,0	1,2	1,1	зрошення, рекреація	1981
7	Іскрінське	Шполка	с.Іскріне Звенигородськ.	28	263	137,8	111	1,85	1,2	водопост., рекреація	1949
8	Юрківське	Шполка	с.Юрківка, Звенигородський	16	513	129,5	150	2,75	0,9	водопост., рекреація	1952
9	Ватутінське	Шполка	м.Ватутіне, Звенигородський	10	520	127,0	90,4	2,4	2,0	водопост., рекреація	1970
10	Княже-Криницьке	Гірський Тікич	с.Княжа Криниця, Уманський	148	142	202,0	90,3	1,1	1,0	риборозвед., рекреац.	1955
11	Івахнянське	Гірський Тікич	с.Івахни, Уманський	141	244	194,9	39	1,0	0,8	водопост., рекреація	1957
12	Острожанське	Гірський Тікич	с.Острожани, Уманський	120	570	98,5	528	10,0	10,0	риборозвед., рекреац.	1982
13	Воронянське	Гірський Тікич	с.Вороне, Уманський	97	1710	98,0	477,5	9,0	8,55	рекреація	1962
14	Майданецьке	Тальянка	с.Зеленьків, Звенигородський				103	2,0	2,0		
15	Гордашівське	Гірський Тікич	с.Гордашівка, Звенигородський	28	3122	129,9	68	1,7	0,55	енергетика, рекреац.	1959
16	Юрпільське	Гірський Тікич	с.Юрпіль, Уманський	52	2625	147,0	139	3,45	1,25	енергетика	1957
17	Соколівське	Конелка	с.Соколівка, Уманський	4	675	97,0-98,0	192	3,85	-	риборозвед.	1977
18	Зеленьківське	Тальянка	с.Зелененки, Звенигородський				72,9	1,3	1,3	риборозвед., рекреац.	
19	Конельське	Конелка	с.Конела, Уманський				302	3,9	2,8	зрошення, рекреація	1960
	<b>Всього по області</b>						<b>3288</b>	<b>65,5</b>	<b>50,6</b>		

## Кіровоградська область

1	Гайворонське	П. Буг	смт.Гайворон	316	20260	131,75	496	11,3	9,3	Енергетика, рекреація	1964
2	Бандурівське 1	Яланець	с.Бандурове, Гайворонський	26	239	128,5	150	2,1	1,0	риборозвед., рекреація	1969
3	Бандурівське 2	Яланець	с.Бандурове, Гайворонський	16	292	121,8	166	2,3	1,9	риборозвед., рекреац	1969
4	Синицівське	Синиця	с.Синицівка, Благовіщенський	10	753	106	59,6	1,5	1,5	риборозвед., рекреац.	1974
5	Новоархангельське	Синюха	смт.Новоархангельськ	94	9600	107,0	457	14,8	11,1	енергетика	1955
6	Тернівське	Синюха	с.Тернівка, Новоархангельський	73	10315	98,3	314	11,9	10,0	енергетика, рекреація	1961
7	Червонохутірське	Синюха	с.Синюха, Вільшанський	23	16595	81,0	329	5,2	5,2	енергетика, зрошення	1957
8	Великовисківське	Велика Вись	с.Велика Виска, Маловисківський	12,0	43,0		59,2	1,3	1,3	зрошення	1986
9	Кам'янське	Велика Вись	с.Кам'янка, Новомиргородський	106	630	141,5	256	4,1	3,6	риборозв., рекреація	1975
10	Надлацьке 1	Велика Вись	с. Надлак, Новоархангельський	31	2750	119,1	148	2,3	2,0	зрошення, риборозв.	1952
11	Мануйлівське	Мала Вись	с.Мануйлівка, Маловисківський	36	72,0	159,0	35,1	1,4	0,8	зрошення, рекреація	1977
12	Маловисківське	Мала Вись	м.Мала Виска, Маловисківський	29	155	153,9	88,1	1,9	1,7	Водопостач., рекреац..	1958
13	Миролобівське	прит. М.Висі Свинарка	с.Миролобівка, Маловисківський	10	46		44	1,3	1,3	зрошення	
14	Нововознесенське	Кільтінь	с.Нововознесенське, Маловисковск		153		108	1,6	1,6	зрошення	
15	Надлацьке 2	Кільтінь	с.Надлак, Новоархангельський	4,0	267	122,2	128	2,9	2,6	риборозв., рекреація.	1971
16	Гаївське	Кагарлик	с.Гаївка, Добровеличківський	25	170	142,1	109	1,6	1,3	зрошення, риборозв.	1969
17	Полонисте	Ятрань	с.Полонисте, Голованівський	24	1570	116,0	65	1,3	1,3	рекреація	1956
18	Глодоське	Сух.Ташлик	с.Глодоси, Новоукраїнський	43	191	131,3	56,9	1,7	1,7	риборозв., рекреація.	1957
19	Липнязьке	Сух. Ташлик	с.Липняжка, Добровеличківський	17	602	106,6	92,5	2,2	2,2	риборозв., рекреація.	1975
20	Шутівське	Чорний Ташлик	с.Юр'івка, Новоукраїнський				30,4	1,3	1,3	зрошення	1989
21	Воронівське	Чорн Ташлик	с.Воронівка, Новоукраїнський	110	272		69	2,0	1,6	водопостачання	1973
22	Новоукраїнське-1	Чорний Ташлик	м. Новоукраїнка	99	780	129,5	56,3	1,2	1,0	водопост., рекреація	1963
23	Вільнівське	прит. Ч.Ташлика Печена	с.Вільне, Новоукраїнський	1,0	57	161,0	30,4	1,1	1,1	Рекреація, зрошення	1982
24	Іванівське	прит. Ч.Ташлик Ташлик	с.Іванівка, Новоукраїнський	13	84	169,0	60	1,3	1,3	риборозвед., рекреац	1980
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	Захарівське	прит. Ч.Ташлика Ташлик	с.Захарівка, Новоукраїнський	8	122	160,4	27,5	1,0	1,0	риборозвед., рекреація	1981
26	Новоукраїнське-3	Грузька	м. Новоукраїнка	7	123		47,9	1,1	1,1	зрошення	1988
27	Воронцівське	Кам'янка	с.Воронцівка, Новгородківський	23	272	111,8	214	5,3	5,3	риборозв., рекреація	1973
28	Пушкінське	Крутоярка	с.Пушкіно, Кропивницький	5,0	86	130,7	150	4,1	4,4	риборозвед., рекреація	1976
29	Новомиколаївське	Інгул	м.Кропивницький	321	987	110,5	257	3,0	3,0	водопостач., рекреація	1929
30	Кандаурівське	прит. Інгула Северинка	с.Кандаурове, Кропивницький	6,0	146	125,7	61,7	1,3	1,3	зрошення., рекреація	1966
31	Аджамське	Аджамка	с.Аджамка, Кропивницький	39	370	118,2	130	3,3	3,3	риборозвед., рекреація	1967
32	Долино-Кам'янське	притока Інгула	с.Долино-Кам'янка, Знам'янський	15	86,5	136,0	72,2	1,8	1,8	риборозв., рекреація	1980

33	Лелеківське	Грузька	с.Лелеківка, Кропивницький	4,0	250	118,3	92,4	2,6	2,6	Рекреація, зрошення	1969
34	Новопавлівське	Сугоклея	с.Новопавлівка, Кропивницький	32	268		64,5	3,3	3,3	водопостачання	1985
35	Федорівське	Лозоватка	с.Миколаївські сади, Кропивницький	12,0	66,5	134,0	24,8	1,0	0,9	зрошення, рекреація	1974
36	Кам'яно-Брідське	Саваклея	с.Криничуватка, Компанієвський	51	99	161,3	44,7	1,5	1,5	рекреація, зрошення	1977
37	Полум'янське	Сухоклея	с.Полум'яне, Бобринецький		538		106	3,7	3,6	зрошення	1989
38	Новогригорівське	Березівка	с.Молодіжне, Долинський	68	114	131,0	70,8	1,9	1,7	водопост.рекреація	1964
39	Лебедине	Березівка	с.Лебедине, Устинівський	51	25	102,5	60	1,5	1,4	риборозвед.рекреація	1985
40	Устинівське	Березівка	с.Устинівка, Устинівський	22	391	78,6	52,5	1,0	1,0	рекреація	1981
41	Докучаївське	б.Сагайдак	с.Докучеєво, Устинівський				98	4,9	3,1	рекреація	
42	Софіївське	Сугоклея	с.Софіївка, Компанієвського				65,6	2,0	2,0	риборозвед., рекреація	
43	Петрівське	Інгул	с.Петрово, Кропивницький				85	2,0	1,6	зрошення	
44	Скопіївське	Чорний Ташлик	с.Скопіївка, Добровеличківський				81,2	1,2	1,2	риборозвед., рекреація	
45	Кагарлицьке	Велика Вись	с.Кагарлик, Новоархангельський				54	1,1	1,1	риборозвед., рекреація	
46	Бобринецьке	Сугоклея	с.Златопіль Бобринецький рн, Бобринецька ОТГ				47	1,1	1,1	риборозвед., рекреація	
	<b>Всього по області</b>						<b>5314</b>	<b>129</b>	<b>115</b>		

### Миколаївська область

1	Первомайське	Південний Буг	м. Первомайск	196	27300	64,26	152	3,4	2,5	енергетика. , водопост.	1929
2	Олександрівське	Південний Буг	смт.Олександрівка, Вознесенський	135	46200	16,0	1104	72,1	21	енергетика, водопост.	1999
3	Рябоконицьке	Вел. Корабельна	с.Рябоконево, Арбузинський	35	116	134,2	38	1,7	1,6	зрошення, риборозв.	1964
4	Благодатненське	Велик.Корабельна	с.Благодатне, Арбузинський	14	472	5,75	68	2,0	1,3	риборозвед., рекреація	<b>1992</b>
5	Ташлицьке	б. Ташлик	м.Південноукраїнськ, Арбузинський	2,3	98	99,5	860	86	34,6	енергетика, водопост.	1982
6	Кузнецовське	Бакшала	с.Кузнецове, Врадіївський	40	468	46,0	93	2,7	1,6	зрошення, рекреація	1979
7	Козубівське	Чортала	с.Козубівка, Вознесенський				91	3,0	2,1		
8	Маринівське	прит.р.Бакшала	с.Маринівка, Доманівський	1,0	131	53,1	48	2,1	1,7	зрошення, рекреація	1973
9	Кривопустошське	Мертвовод	с.Крива Пустош, Вознесенський				32	1,9	1,5		
10	Прибужанівське	Чортала	с.Прибужани, Вознесенський	3,0	350	4,75	248	4,5	1,9	зрошення, рекреація	1968
11	Таборівське	Мертвовод	с.Таборівка, Вознесенський	12	1708	14,5	242	8,3	7,1	зрошення, рекреація	<b>1987</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	Мостівське	Кам-Костувата	с.Мостове, Братський	23	37,9	80,0	30	2,0	1,7	зрошення, рекреація	1976
13	Трикратьське	Арбузинка	с.Трикрати, Вознесенський	8,0	363	60,0	85	1,1	0,9	риборозв, зрошення,	1969
14	Филимонівське	прит.Чичиклії , Стовбова	с.Филимонівка, Врадіївський	26	82	85,0	61	1,5	0,6	риборозвед., рекреац.	1976
15	Єланецьке	Гнилий Єланець	с.Кам'янка, Єланецький	42	400	51,25	109	4,0	3,3	зрошення, риборозв.	1956
16	Щербанівське	Гнилий Єланець	с.Щербані, Вознесенський	21	997	17,8	301	15,7	12,0	риборозв.,зрошення	1965
17	Нікольське 2	прит.Г.Єланець б.Солона	с.Нікольське, Братський	30	54	71,5	30	1,0	0,9	зрошення, риборозв.	1985
18	Нікольське 1	прит. б.Солона	с.Нікольське, Братський	4,0	57,5	71,4	35	1,0	0,4	рекреація	1975

19	Софіївське	Інгул	с.Софіївка, Новобузький	153	6100	39,5	470	36	31	зрошення, водопостач.	1968
20	Єленокалінінське	б. Сагайдак	с.Єленокалінівка, Новобузький	12	300	60,8	58	1,1	0,6	риборозвед., рекреація	1953
21	Новобузьке	приг.Інгула. б.Куца	м.Новий Буг, Новобузький	13	125	81,5	39	1,2	0,6	рибороз., рекреація	1973
22	Ганнівське	б. Горожено	с.Ганнівка, Новобузький	1,0	113	24,5	39	1,1	0,35	риборозвед., рекреація	1974
23	Водяно-Лоринське	Громокля	с.Водяно-Лорине, Єланецький	48	654	42,0	135	8,3	7,3	рекреація	1981
24	Восіятське	Богодушна	с.Восіятське, Єланецький	1,0	208	63,1	110	4,1	3,95	зрошення., рекреація	1977
25	Водойма Ташлицької ГАЕС	б.Ташлик	м.Південноукраїнськ, Арбузинський	1,0	наливне		35	4,4	3,5	енергетика	2006
26	Мар'янівське	Каратаєва	с.Мар'янівка, Первомайський	8	53,5	85,5	33	1,4	1,0		
27	Жовтневе (наливне)	канал Дніпро-Миколаїв	с.Миколаїв				425	31	30		
	<b>Всього по області</b>						<b>4971</b>	<b>302,5</b>	<b>175</b>		
<b>160</b>	<b>Разом по басейну</b>						<b>28068,5</b>	<b>843</b>	<b>517</b>		

## Додаток Д

Таблиця Д.1

Результати дослідження якості поверхневих вод  
(пункт спостережень – Лазурне, м. Миколаїв)

Од.виміру		ГДК	XI_I	XI_II	XII	I	II	III	IV	V
Тповітря	град С		14	3	1,5	8	8	8	15	26
Тводи	град С		18,6	10,1	12,9	11,3	8,6	11,7	16,7	24
	рН	6.5-8.5	7,7	7,6	7,8	7,9	7,5	8	7,7	7,7
Тужність	СО <sub>2</sub> -/дм <sup>3</sup>	30	264	164	285	385	345	390	380	280
кальцієва	мг/дм <sup>3</sup>	130	995	224	185	135	4114	н/в	185	240
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	500	590	275	410	140	340	310	150	450
Сульфіди	мг/дм <sup>3</sup>	0	4,24	0	0,04	0,03	0	0,02	0	н/в
Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	0,45	0,24	0,34	0,41	0	0,13	0,24	н/в
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	45	2,5	2,48	4,1	7	н/в	0,78	0	0
Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	3,3	0,14	0,1	0,17	0,05	0	0	0	0
Ціаніди	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
	загальне	0,3	0,24	0,16	0,19	0,21	0,81	0,21	н/в	н/в
	упрум(II)	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
	метали(II)		0	0	0	0	0	0	0	0
	ералізація	1000	3500	2550	2430	1530	1540	1410	691	2010
	Алюміній	0,5	0	0,06	0,02	0,01	0,02	0,06	н/в	н/в
	амутність	NTU	26	73	38	10	14	17	14	

Результати дослідження якості поверхневих вод  
(пункт спостережень – вул. Нижня Набережна, м. Миколаїв)

	Од.вимір	ГДК	XI_I	XI_II	XII	I	II	III	IV	V
Тповітря	град С		14	3	1,5	8	8	8	15	22
Тводи	град С		19,4	8,8	12,2	11,1	10,1	11,2	16	21,7
рН		6,5-8.5	7,6	7,2	8	7,4	7,6	8,3	7,7	7,7
Лужність	мгНСО <sub>3</sub> -	30	165	124	245	410	350	420	250	245
Жорсткість	кальцієва		180	165	195	195	4200	139	293	212
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	500	588	470	420	440	400	520	490	475
Сульфід	мг/дм <sup>3</sup>	0	0	0,09	0,03	0	0	0	0,35	н/в
Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	4,77	0	0,28	0,27	0,07	0,12	0,24	н/в
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	45	2,99	2,23	4,22	6,5	0	0	0	0
Нітри	мг/дм <sup>3</sup>	3,3	0	0,25	0,23	0,1	0	0	0	0
Цяніди	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Залізо заг	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,27	0,26	0,07	0,1	0,1	0,19	н	н/в
Купрум(I)	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0	0,14	0	0	0	0	0	0
Метали(I)	мг/дм <sup>3</sup>		0	0	0	0	0	0	0	0
Мінералі	мг/дм <sup>3</sup>	1000	3610	3070	2800	2220	1900	1890	1560	2410
Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0	0,04	0,03	0	0,02	0,32	н/в	
Каламутн	NTU		66	21	10	8	14	17	16	17

Результати дослідження якості поверхневих вод  
(пункт спостережень – Яхт-Клуб, м. Миколаїв)

	Од.вимір	ГДК	XI_1	XI_2	XII	I	II	III	IV	V
Тповітря	град С		14	3	1,5	8	8	8	15	22
Тводи	град С		19,2	8,9	12	11,5	9,3	11,7	18,1	21,5
рН		6,5-8.5	7,8	7,8	7,7	7,4	7,2	8,2	8	7,2
Лужність	мгНСО <sub>3</sub> -	30	280	138	240	345	255	270	200	290
Жорсткість кальцієва			162	190	170	190	3870	279	221	224
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	500	480	580	330	340	415	350	310	425
Сульфіди	мг/дм <sup>3</sup>	0	0,36	0	0,04	0,02	0	0,01	0	н/в
Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	2,19	0,37	0,27	0,24	0	0	0,24	н/в
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	45	7,9	1,91	4,73	7,5	н/в	3,29	5,8	
Нітриди	мг/дм <sup>3</sup>	3,3	0,32	0,29	0,25	0,14	0	0	0	
Цяніди	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0	0	0	0		0	0	
Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Залізо заг	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0	0,19	0,13	0,11	0,12	0,26	н/в	
Купрум(I)	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
Метали(I)	мг/дм <sup>3</sup>		0	0	0	0	0	0	0	0
Мінералі	мг/дм <sup>3</sup>	1000	3300	3360	2900	2390	2180	2180	1810	2315
Колір	бали		прозор.	прозор.	прозор.	прозор.	прозор.	жовтуват	жовтув.	
Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,16	0,08	0,03	0,02	0,08	0,07	н/в	
Каламутн	NTU		21	16	16	10	16	16	16	

Результати дослідження якості поверхневих вод  
(пункт спостережень – мкр. Намив, м. Миколаїв)

	Од.вимір	ГДК	XI_I	XI_II	XII	I	II	III	IV	V
Тповітря	град С		14	3	1,5	8	8	8	15	22
Тводи	град С		19,2	9	12,1	13	8,9	13,2	15,9	21,5
pH		6,5-8,5	7,6	8	7,8	7,5	7,8	8,1	7,9	7,3
Лужність	мгНСО3	30	188	128	190	200	335	340	121	300
Жорсткіс	мг/дм3		171	252	215	195	4200	210	215	226
Сульфати	мг/дм3	500	464	480	460	370	495	640	418	445
Сульфідн	мг/дм3	0	0,02	0,02	0,04	0	0	0,02	0	н/в
Фосфати	мг/дм3	3,5	3,03	0,3	0,3	0,14	0	0	0,24	н/в
Нітрати	мг/дм3	45	3,5	4	4,79	8,4	н/в	0	0	0
Нітрити	мг/дм3	3,3	0,2	0,28	0,27	0,15	0	0	0	0
Ціанідн	мг/дм3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Амоній	мг/дм3	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Залізо заг	мг/дм3	0,3	0	0,2	0,16	0,14	0,14	0,34	н/в	н/в
Купрум(І)	мг/дм3	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
Метали(І)	мг/дм3		0,05	0	0	0	0	0	0	0
Мінералі	мг/дм3	1000	3280	3320	3010	2370	2360	2520	2030	2380
Колір	бали		прозор	прозор.	прозор.	прозор.	прозор.	жовтуват	жовтуват	прозор.
Алюміній	мг/дм3	0,5	0,03	0,07	0,04	0,02	0,02	0,06		н/ н/в
Каламутн	NTU		24	23	10	16	14	24	16	