

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГАЦЬ АНАСТАСІЯ КОСТЯНТИНІВНА

УДК: 502.51(282)(477.41/.42):502.171

**ДИСЕРТАЦІЯ
ПРОГРАМА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
Р. УНАВА ТА ЗАХОДИ ЇЇ ВІДНОВЛЕННЯ**

101 «Екологія»
10 «Природничі науки»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело А.К. Гаць

Науковий керівник:
Строкаль Віта Петрівна,
кандидат педагогічних наук,
доцент

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Гаць А. К. Програма оцінювання екологічного стану р. Унава та заходи її відновлення – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – «Екологія». – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2025.

Екологічне значення малих річок проявляється в наданні екосистемою послуг як для природної екосистеми, забезпечуючи процеси саморегулювання та збереження біорізноманіття, так і для збалансованого еколого-економічного розвитку держави. Малі річки є невід’ємною частиною водного балансу, які створюють неповторні ландшафти та сприяють синергії об’єктів зеленої та блакитної мереж екосистем. Контроль за їхнім якісним станом та регулюванням річкової системи є актуальними питаннями як на національному (інтегроване управління), так і на регіональному рівнях (підтримка екологічного стану).

Під час синтезу наукових даних обґрунтовано джерела впливу на екосистему малих річок. Зазначено, що тваринництво та стічні води від побутових і промислових галузей є джерелами точкового забруднення, небезпека яких проявляється у наявності в стічних водах таких концентрацій канцерогенних речовин, які є токсичними для водної біоти. Аграрне виробництво, зокрема рослинництво, є основним дифузним джерелом забруднення річок, небезпека якого проявляється в наявності у воді високих концентрацій біогенних речовин, які негативно впливають на показники кисневого балансу водойм, створюючи небезпеку для водних організмів.

У процесі дослідження обґрунтовано екологічну, соціально-економічну роль малих річок у підтриманні та захисті територіальної експансії, підтриманні розвитку сільського господарства за впливу змін клімату, збереженні біофонду цінних тварин і рослин, забезпеченні екосистемних послуг.

Розроблений алгоритм оцінювання стану р. Унава дав можливість виокремити індикаторні групи показників якісного стану води, зокрема індикаторну групу гідрохімічних показників води (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , сухий залишок, водневий показник pH), за якою оцінено вміст головних йонів; індикаторну групу показників вмісту токсикантів для водної біоти (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe), яка оцінює річку за рівнем безпечності; індикаторну групу показників сапробності водойми (вміст розчиненого кисню, БСК₅, прозорість), за допомогою якої визначили наявність органічного забруднення річки та встановили клас сапробності води; індикаторну групу біологічних показників за макрофітами, як індикаторів сапробності, яка дала можливість оцінити трофічний статус річки; індикаторну групу показників біогенного забруднення, за допомогою якої визначили тип переважаючого забруднення (точковий, дифузний, з переважаючим фосфорним або азотним забрудненням) та індикатор водного дефіциту для прогнозу доступності необхідної кількості якісної води для різних видів водокористування.

Результати проведених аналітичних досліджень за індикаторною групою гідрохімічних показників якості води р. Унава показали, що досліджувана вода відноситься до: (а) гідрокарбонатного класу групи кальцію ($\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$) гіппогалінного 1 типу із середнім умістом катіону кальцію у 2022 році 33,5 мг/дм³ (мін. = 32 мг/дм³; макс. = 36 мг/дм³) та у 2024 році – 79,7 мг/дм³ (мін. = 58 мг/дм³; макс. = 134 мг/дм³); (б) I та II класів якості за вмістом сульфатів та загального вмісту солей у воді, до II та III класів якості за показником умісту хлоридів (у 2024 році – $\Sigma \text{Cl}^- = 36,7$ мг/дм³; 2022 році – $\Sigma \text{Cl}^- = 89,9$ мг/дм³).

Визначено класи сапробності р. Унава, зокрема за величиною прозорості річка належить до брудної води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних, за вмістом БСК₅ – до брудної води полісапробного класу.

Означено індикатори трофічного стану річки, до яких належать макрофіти, такі як: кушир напівзанурений, рдесник дрібнолистий та гребінчастий, водяний горіх плаваючий, ряска мала, очерет звичайний. За цією

групою макрофітів-індикаторів оцінено трофічний статус річки від «мезотрофного» до «евтрофного» з типом забруднення від «помірно забруднених» до «забруднених».

За індикаторною групою токсичності водойми, що включають показники вмісту важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe), встановлено відсутність перевищень фактичних концентрацій у досліджуваній воді за всіма показниками і відповідно річку віднесено до I класу з 1 категорією якості води.

Дослідивши показники індикаторної групи біогенного забруднення річки, виявлено, що за концентрацією азоту нітритного (0,006-0,306 мг N/дм³ за 2022 рік, 0,006-0,051 мг N/дм³ за 2024 рік, яка відповідає 3 та 5 класам якості) річкову воду слід класифікувати за категорією непридатної для водної екосистеми; азоту амонійного – для рекреаційних, господарсько-побутових потреб (1,00-1,42 мг N/дм³ за 2022 рік, 0,90-4,57 мг N/дм³ за 2024 рік за норми 1,55 мг N/дм³) та для питних цілей й водної екосистеми загалом (0,814-6,84 мг N/дм³ за 2022 рік, 0,364-4,56 мг N/дм³ за 2024 рік), оцінює річку за 3 та 4 класом якості для питних потреб, 4-5 класом якості – для водної екосистеми; сполук фосфору – оцінює воду як обмежено придатну для водної екосистеми (0,062-0,196 мг P/дм³ за 2022 рік, 0,333-0,597 мг P/дм³ за 2024 рік), оцінюючи її за 2-3 класом якості в 2022 році та 5 класом якості в 2024 році.

Установлено, що лімітуючою біогенною речовиною за стехіометричним співвідношенням Редфільда в 2022 році досліджень були сполуки мінерального фосфору ($RR = 29,42-108,64$), а іони мінерального азоту знаходилися в надлишку, тобто переважаючим було азотне забруднення водойми з можливим розростанням зелених водоростей. У 2024 році – лімітуючою ознакою були йони мінерального азоту ($RR = 6,32-18,71$), а сполуки фосфору в цих умовах перебували в надлишку, тобто переважаючим був тип фосфорного забруднення води з можливим розвитком синьо-зелених водоростей.

Розрахований індекс водного дефіциту річки для певних категорій риб за методикою розрахунку індикатора водного дефіциту із врахуванням

показників кисневого балансу (вміст розчиненого кисню у воді, БСК₅), які суттєво впливають на екологічний стан річки. Виходячи із показника концентрації розчиненого кисню у воді, було розраховано індекси водного дефіциту водойми для категорій риб: для окуневих $WSq_{2022} = 0,48$ (високий рівень водного дефіциту) та $WSq_{2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту); для коропових, судака, товстолобика, щуки – $WSq_{2022/2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту). Рівень водного дефіциту р. Унава із врахуванням показника якості БСК₅ був високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ($WSq_{2022} = 3,15$, $WSq_{2024} = 5,63$).

Визначено також екологічні, економічні та соціальні ризики, які могли вплинути на екологічний стан річки, її зарегульованість. Наведені ризики співвіднесено із причинами їхнього виникнення. Запропоновано заходи для мінімізації впливу цих ризиків на екологічний стан річки.

Запропоновано програму відновлення р. Унава, що включає схему впровадження заходів із поліпшення гідрологічного режиму р. Унава, усунення бар'єрів на річці для покращення швидкості течії, укріплення берегів для запобігання впливу ерозійних процесів, створення блакитно-зеленої мережі для збереження осередків флори та фауни, підвищення рівня освіченості населення щодо культурно-природної спадщини, проведення моніторингу за якісним станом води на основі індикаторного підходу, який є ефективним для оцінки малих річок.

Ключові слова: водні ресурси, дельта річки, екологічна оцінка, індикатори, важкі метали, токсичність, клімат, біогенні речовини, сапробність води, джерела забруднення.

ABSTRACT

Hats A. K. Unawa River Environmental Assessment and Restoration Program. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 101 – «Ecology» – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2025.

Small rivers' ecological significance is manifested in providing ecosystem services for the natural ecosystem, ensuring self-regulation processes and biodiversity conservation, and for the state's balanced ecological and economic development. Small rivers are an integral part of the water balance, which create unique landscapes and contribute to the synergy of green and blue ecosystem networks. Monitoring their qualitative state and regulating the river system are relevant issues at the national (integrated management) and regional levels (maintaining ecological status).

During the synthesis of scientific data, the sources of influence on the ecosystem of small rivers were substantiated. It was noted that livestock farming and wastewater from domestic and industrial sectors are sources of point pollution, the danger of which is manifested in the presence of such concentrations of carcinogenic substances in wastewater that are toxic to aquatic biota. Agricultural production, particularly crop production, is the primary diffuse source of river pollution, the danger of which is manifested in the presence of high concentrations of biogenic substances in the water, which negatively affects the oxygen balance indicators of water bodies, creating a danger to aquatic organisms.

In the process of research, the ecological, socio-economic role of small rivers in maintaining and protecting territorial expansion, supporting the development of agriculture under the influence of climate change, preserving the biodiversity of valuable animals and plants, and providing ecosystem services was substantiated.

The developed algorithm for assessing the environmental state of the Unava River made it possible to identify indicator groups of parameters of the water quality, in particular the indicator group of hydrochemical parameters of water (Ca_2^+ , Mg_2^+ , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , dry residue, hydrogen pH), by which the content of the primary ions was estimated; an indicator group of parameters of the content of toxicants for aquatic biota (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe), which assesses the river in terms of safety; an indicator group of parameters of the saprobity of the water (dissolved oxygen content, BOD_5 , transparency), which was used to determine the presence of organic pollution of the river and establish the saprobity class of the water; an

indicator group of biological parameters for macrophytes, as indicators of saprobity, which made it possible to assess the trophic status of the river; an indicator group of parameters of biogenic pollution, which was used to determine the type of prevailing pollution (point, diffuse, with predominant phosphorus or nitrogen pollution) and a water deficit indicator to predict the availability of the necessary amount of high-quality water for various types of water use.

The results of the analytical studies conducted on the indicator group of hydrochemical water quality parameters of the Unava River showed that the studied water belongs to: (a) the hydrocarbonate class of the calcium group (C_{II}) of the hypohalite 1 type with an average calcium cation content in 2022 of 33.5 mg/dm³ (min. = 32 mg/dm³; max. = 36 mg/dm³) and in 2024 – 79.7 mg/dm³ (min. = 58 mg/dm³; max. = 134 mg/dm³); (b) I and II quality classes in terms of sulfate content and total salt content in water, to II and III quality classes in terms of chloride content (in 2024 – ΣCl^- = 36.7 mg/dm³; in 2022 – ΣCl^- = 89.9 mg/dm³).

The saprobity classes of the Unava River were determined, in particular, according to the value of transparency, the river belongs to the dirty water with saprobity classes from poly- to hypersaprobic, according to the content of BOD₅, to the dirty water of the polysaprobic class.

Indicators of the river's trophic state were determined, including macrophytes such as *Ceratophyllum demersum*, *Lemna minor* L., *Potamogeton pusillus*, and *Stuckenia pectinata*. According to this group of macrophyte indicators, the trophic status of the river was assessed from "mesotrophic" to "eutrophic", with a type of pollution from "moderately polluted" to "polluted".

According to the indicator group of toxicity of the water, which includes indicators of the content of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe), the absence of excesses of actual concentrations in the studied water according to all parameters was established and, accordingly, the river was assigned to class I with one category of water quality.

Having studied the indicators of the biogenic parameters, it was found that according to the concentration of nitrite nitrogen (0.006-0.306 mg N/dm³ for 2022,

0.006-0.051 mg N/dm³ for 2024, which corresponds to quality classes 3 and 5), river water should be classified as unsuitable for the aquatic ecosystem; ammonium nitrogen – for recreational, household needs (1.00-1.42 mg N/dm³ for 2022, 0.90-4.57 mg N/dm³ for 2024 at the norm of 1.55 mg N/dm³) and for drinking purposes and the aquatic ecosystem in general (0.814-6.84 mg N/dm³ for 2022, 0.364-4.56 mg N/dm³ for 2024), assesses the river according to quality classes 3 and 4 for drinking needs, quality classes 4-5 for the aquatic ecosystem; phosphorus compounds – assesses water as limitedly suitable for the surface ecosystem (0.062-0.196 mg P/dm³ in 2022, 0.333-0.597 mg P/dm³ in 2024), evaluating it according to quality class 2-3 in 2022 and quality class 5 in 2024.

It was established that the limiting biogenic substance according to the Redfield stoichiometric ratio in 2022 of the study was mineral phosphorus compounds (RR = 29.42-108.64), and mineral nitrogen ions were in excess, i.e. nitrogen pollution of the river with possible growth of green algae prevailed. In 2024, the limiting factor was mineral nitrogen ions (RR = 6.32-18.71), and phosphorus compounds under these conditions were in excess, i.e. the predominant type of phosphorus water pollution, with the possible development of blue-green algae.

The river water deficit index was calculated for specific categories of fish using the water deficit indicator calculation method, taking into account oxygen balance parameters (dissolved oxygen content in water, BOD₅), which significantly affect the ecological state of the river. Based on the dissolved oxygen concentration in water, the river water deficit indices were calculated for fish categories: for perch $WSq_{2022} = 0.48$ (high level of water deficit) and $WSq_{2024} = 0.30$ (average level of water deficit); for carp, pike perch, silver carp, pike - $WSq_{2022/2024} = 0.30$ (average level of water deficit) – the level of water deficit of the river. The Unava river, taking into account the BOD₅ quality parameter, was high in both the 2022 and 2024 studies ($WSq_{2022} = 3.15$, $WSq_{2024} = 5.63$).

Environmental, economic and social risks were also identified that could affect the ecological state of the river and its regulation. The listed risks were

correlated with the causes of their occurrence. Measures were proposed to minimise the impact of these risks on the river's ecological state.

A program for the restoration of the Unava River was proposed, which includes a scheme for implementing measures to improve the hydrological regime of the river. The Unava river, removing barriers on the river to enhance flow speed, strengthening banks to prevent the impact of erosion processes, creating a blue-green network to preserve flora and fauna, increasing the level of education of the population regarding cultural and natural heritage, monitoring water quality based on an indicator approach, which is effective for assessing small rivers.

Keywords: water resources, river delta, ecological assessment, indicators, heavy metals, toxicity, climate, biogenic substances, saprobicity of water, pollution sources.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Строкаль В. П., Гаць А. К. Оцінювання водного середовища р. Унава за показниками сапробності. Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 6(57), 2024. С. 88-95. *(Гаць А. К. проведено літературний науковий пошук, роблено аналіз проб води та визначено статус сапробності водного середовища. Строкаль В. П. узагальнено висновки та рекомендації, зроблено діаграми та рисунки).*

2. Stokal V., & Hats A. Biogenic pollution of the Unava River waterbody. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 21(1), 2025. 9-27. *(Гаць А. К. проведено оцінювання водойми за біогенними речовинами, обґрунтовано методикау використання та проведений розрахунок RR на наявність встановленого переважаючого типу забруднення водойми. Строкаль В. П. узагальнено висновки, зроблено діаграми та рисунки).*

3. Строкаль В. П., **Гаць А. К.** Дефіцит якісної води для рибальства в річці Унава. Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 7(58), 2025. С. 216-225. *(Гаць А. К. проведено розрахунок індексу водного дефіциту за показниками кисневого балансу води, зроблено висновки. Строкаль В. П. розроблено рисунки та алгоритм статті).*

Тези наукових доповідей

1. **Гаць А. К.** Аналіз прогнозованих ризиків погіршення екологічного стану р. Унава. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія – філософія існування людства», (м. Київ, 23-24 квітня, 2025). Київ : НУБіП України, 2025. С. 36-37.

2. Войтенко Л. В., Копілевич В. А., Заленська Є. А., & **Гаць А. К.** Оцінка якості води для зрошення: методологія та практика. Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр. Херсон : ХДАЕУ, 2021. Вип. 3. С. 125-129. *(Гаць А. К. проведено літературний науковий пошук. Войтенко Л. В. розроблено методологію оцінювання якості води для зрошення. Копілевич В. А. зроблено аналіз використання методології, обґрунтовано практичне застосування методики. Заленська Є. А. доповнено літературний аналіз, роблено аналіз проб води та написано висновки).*

3. Voitenko L., **Hats A.**, Kopilevich V., Voitenko A. How to Unify Drinking Water Quality Assessment: Problems And Solutions. Second International Congress On Biological And Health Sciences. Abstract Book. 24-27 February, 2022. Turkey. P. 400. *(Hats A. (Гаць А. К.) проведено літературний науковий пошук та доповнено висновки. Voitenko A. розроблено алгоритм подачі результатів дослідження. Voitenko L. подано ідею розробити шкали бажаності для узагальненої продуктивності на основі ризику для здоров'я людини, також розроблено програму Python для обчислення узагальненої функції бажаності, які можуть включати необмежену кількість показників якості та*

властивостей питної води для людини, споживання тварин або птиці. Korilevich V. наведено характеристику основних водно–екологічних проблем).

4. Voitenko L., Zalenska E., **Hats A.**, Korniychuk O., Skrypets B., Voitenko A.. Development of agricultural water quality indices for Ukraine. Book of Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2022». Jahorina, Bosnia and Herzegovina. October 06-09, 2022. P. 889-897. (*Hats A. (Гаць А. К.) проведено літературний науковий пошук, сформовано висновки. Voitenko L. розроблено програму Python «WODA» (Water Of Different Application) для розрахунку оцінки якості води для різних категорій водоспоживання. Zalenska E. опрацьовано теоретичний матеріал. Korniychuk O. створено таблицю «Оцінка якості води для зрошення: двостороннє обмеження для параметрів, що мають оптимальний діапазон для розрахунку функції бажаності Харрінгтона». Skrypets B. сформовано таблицю «Розрахунок WQI для рибальства». Voitenko A., було створено структурно-логічну схему складання WQI для різних ділянок води з використанням в сільське господарство).*

5. Voitenko A., Voitenko L., **Hats A.**, Skrypets B. Drinking Water Quality Index: A Useful Tool For Integrated Assessment of Drinking Source Sustainability. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки». 25-26 жовтня 2022 р. Київ: НУХТ, 2022. С. 23-25. (*Hats A. (Гаць А. К.) проведено літературний науковий пошук, наведено характеристику основних водно–екологічних проблем. Voitenko L. проведено аналіз індексу якості питної води. Voitenko A. розроблено алгоритм подачі результатів дослідження. Skrypets B. сформовано етапи наступних досліджень).*

ЗМІСТ

ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ РІЧКОВОЇ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ	
ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ.....	21
1.1. Річкова система України	21
1.1.1. Гідрографічна мережа	21
1.1.2. Великі річки та їхнє значення.....	29
1.1.3. Малі річки та їхнє значення.....	32
1.2. Система управління водними ресурсами	41
1.3. Точкові джерела забруднення річок	44
1.3.1. Вплив тваринницьких комплексів	44
1.3.2. Вплив стічних вод.....	49
1.4. Дифузні джерела забруднення річок.....	56
1.5. Кліматичні зміни та коливання кількості опадів	60
1.6. Малі річки як джерела екосистемних послуг.....	64
Висновки до розділу 1	69
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	71
2.1. Місце та умови проведення досліджень	71
2.2. Методика проведення досліджень	80
Висновки до розділу 2	90
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТАНУ Р. УНАВА ЗА ІНДИКАТОРНИМ	
ПІДХОДОМ	92
3.1. Оцінка за індикаторною групою гідрохімічних показників.....	92
3.2. Оцінка за індикаторною групою показників сапробності води	97

3.3. Оцінка за індикаторною групою біологічних показників води (макрофіти)	101
3.4. Оцінка за індикаторною групою показників токсичності води	104
3.5. Оцінка за індикаторною групою показників біогенного забруднення води.....	107
3.6. Оцінка річки за індикатором водного дефіциту	122
3.7. Аналіз прогнозованих ризиків погіршення якості води	130
Висновки до розділу 3	134
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМА ВІДНОВЛЕННЯ Р. УНАВА.....	137
4.1. Схема впровадження заходів з відновлення	137
4.2. Програма моніторингу.....	144
Висновки до розділу 4	146
ВИСНОВКИ.....	147
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	151
ДОДАТКИ.....	170

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- ГДК – гранично допустима концентрація
- ВРХ – велика рогата худоба
- ЖКГ – житлово-комунальне господарство
- ЗЗР – засоби захисту рослин
- ЛОШ – лімітуюча ознака шкідливості
- ГЕС – гідроелектростанція
- ТЕС – теплоелектростанція
- ЕРА – національна агенція США з охорони навколишнього середовища
- RR (Redfield Ratio) – співвідношення Редфільда
- WWQA – Всесвітній альянс якості води
- ПТК – природно-територіальний комплекс
- ЦСР – Цілі Сталого Розвитку
- ДСНС України – Державна служба надзвичайних ситуацій в Україні
- CMIP – the Coupled Model Intercomparison Project (Проект порівняння зв'язаних моделей)
- GCMs – the global circulation models (глобальні моделі циркуляції)
- ЛОС – леткі органічні речовини
- RCP – Representative Concentration Pathway (Репрезентативний шлях концентрації)

ВСТУП

Актуальність теми. Малі річки є невід’ємною частиною водного балансу, які створюють неповторні ландшафти та сприяють синергії об’єктів зеленої та блакитної мереж екосистем. Їхнє екологічне значення зумовлено наданням забезпечувальних, регуляторних та культурних послуг населенню, створенням передумов для збалансованого еколого-економічного розвитку держави.

Вартим уваги є те, що малі річки є водними артеріями для середніх та великих річок, які так само постачають воду для різних галузей народного господарства, таких як: аграрне виробництво (зрошення), енергетика, урбанізація (питні потреби), промисловість (забезпечення водою циклу виробництва), рекреація та рибальство, риборозведення та аквакультура. Контроль за якісним станом води та регулюванням річкової системи є актуальними питаннями як на національному (інтегроване управління), так і на регіональному рівнях (підтримка екологічного стану).

За ініціативи Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Державним агентством водних ресурсів України розроблено Плани управління річковими басейнами, які передбачають упровадження заходів відновлення річок у межах річкових басейнів та контроль оцінювання головних водних артерій за хімічним та біологічним станами. Проте значної уваги не приділено аспектам відновлення та оцінювання екологічного стану малих річок, підтриманню моніторингових досліджень у межах басейнів малих річок, які б забезпечували контроль за належним екологічним станом системи малих річок.

В Україні існує кілька прикладів, які демонструють ефективність упровадження програм відновлення малих річок. Зокрема, це розроблена КП «Інститут розвитку міст» Концепція розвитку малих річок Вінниці-2035, яка демонструє заходи для відновлення, програму впровадження цих заходів та шляхи фінансування. Іншим прикладом є розроблена на базі Платформи WWF Україна Концепція просторового планування сільськогосподарських угідь у

басейнах малих річок, яка демонструє організацію та оптимізацію просторової та вертикальної структури малих річок для збереження та підтримки річкового стоку без впливу на них сільськогосподарської діяльності. Також Київська міська рада із серпня 2024 року розробляє програму ревіталізації міських водойм для збереження близько 70 малих річок та струмків, які перебувають у підземних або наземних колекторах. Проте Концепція оцінювання та відновлення малих річок України державного рівня відсутня, у тому числі відсутні будь-які діючі програми відновлення малої річки Унава. Ця річка, яка протікає Київською та Житомирською областями, є правою притокою річки Ірпінь (територія суббасейну Середнього Дніпра) і виконує екологічну роль водозабезпечення галузей народного господарства.

На сьогодні створення програм відновлення малих річок та належного оцінювання їхнього екологічного стану є актуальним для збереження водних артерій України, підтримання належного біорізноманіття, що потребує наукового обґрунтування та напрацювання значних підходів для врахування комплексних методів оцінки води.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дана робота була проведена в рамках ініціативної науково-дослідної роботи «Прогнозування стану водних ресурсів Дніпровського басейну України внаслідок антропогенного навантаження», № державної реєстрації 0120U101386 (керівник роботи доцент Строкаль В. П., виконавець роботи Гаць А. К.).

Мета і завдання дослідження.

Мета: розробити програму оцінки екологічного стану р. Унава на основі індикаторного підходу для забезпечення функцій збереження річкової системи.

Завдання:

1. Провести аналіз та обґрунтувати роль малих річок як джерел екосистемних послуг.
2. Визначити антропогенні джерела впливу на р. Унава.

3. Розробити алгоритм оцінки екологічного стану річки на основі індикаторного підходу та застосувати його для р. Унава.

4. Провести оцінку екологічного стану р. Унава за гідрохімічними та трофо-сапробіологічними індикаторами якості води.

5. Визначити екологічний стан р. Унава за індикатором водного дефіциту.

6. Розробити програму відновлення р. Унава для збереження її належного екологічного стану.

Об'єкт дослідження – оцінка екологічного стану р. Унава за індикаторним підходом.

Предмет дослідження – індикаторні групи показників екологічного стану річки для встановлення типу її забруднення, класу сапробності, трофічного статусу річки, придатності річки для нормального функціонування водних організмів.

Методи дослідження. При виконанні дослідження використано загальнонаукові методи (синтез та аналіз даних, індукція та дедукція), методи екологічного (оцінки гідрохімічних показників, сапробності води, біогенного забруднення, водного дефіциту) та статистичного аналізу.

Для проведення оцінки стану водойми р. Унава відбір проб води з водойми відбувався у вересні 2022 року та у жовтні-листопаді 2024 року. Температурний режим в обидва періоди забору проб води був практично однаковими, попри різницю в місяці відбору. Протягом відбору проб води фіксували природно-кліматичні умови: кількість опадів, атмосферний тиск, температуру повітря та води, вологість повітря.

Проби води відібрано відповідно до ДСТУ ISO 5667 Якість води. Відбирання проб та Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку перевірки, взяття проб води та проведення їх аналізу». Кожен пункт спостереження включав по три точки відбору проб води. Відбір проб води починався з витоку річки (1 пункт спостереження) і закінчувався гирлом річки в місці її впадіння у р. Ірпінь (10 пункт спостереження). Загальна

кількість пунктів спостереження – 10 ($n=3$: повторність), із яких три розташовані у водосховищах на р. Унава.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

Розроблено алгоритм оцінювання екологічного стану малої річки за індикаторним підходом та застосовано його до р. Унава, який дав можливість визначити переважаючий тип забруднення річки (точковий чи дифузний), встановити трофічний статус та ступінь сапробності води, обґрунтувати індикаторний показник водного дефіциту для прогнозу доступності необхідної кількості якісної води для різних видів водокористування.

Розроблено програму відновлення р. Унава для збереження її річкового стоку, гідроморфологічної мережі й підтримання належного екологічного стану річки.

Удосконалено:

Процедуру оцінювання екологічного стану р. Унава для визначення рівня біогенного забруднення за показниками вмісту неорганічного фосфору та мінерального азоту (амонійного, нітратного, нітритного) з визначенням лімітуючої біогенної речовини за використання стехіометричного співвідношення Редфільда.

Доповнено:

Відомості про екологічну, соціально-економічну роль малих річок як джерел екосистемних послуг.

Відомості про антропогенні джерела впливу на р. Унава, причини погіршення якісного стану води.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати дослідження будуть корисними для державних органів виконавчої та законодавчої влади в рамках імплементації Водної рамкової директиви ЄС в Україні, до завдань якої з управління водними ресурсами віднесено забезпечення «належного» екологічного стану кожного

водного об'єкта країни та запобігання погіршенню / виснаженню водно-болотних угідь, які є частиною заплавл річок.

Розроблена програма відновлення р. Унава, яка включає схему впровадження заходів із поліпшення її гідрологічного режиму та екологічного стану, може бути додатковою базою для подальших моніторингових досліджень у регіональних масштабах, а також бути прикладом для подальшої розробки Концепції ревіталізації малих річок Київської області та інших регіонів України. Також програма може бути одним з інструментів для розробки проєкту відновлення р. Унава на державному рівні. Розроблена програма відновлення р. Унава носить рекомендаційний характер для басейнової ради суббасейну Середнього Дніпра та територіальних органів Житомирської та Київської областей, а також для місцевих органів влади.

Запропонований алгоритм оцінювання екологічного стану малих річок на основі індикаторного підходу орієнтований на врахування принципів Європейського Зеленого курсу та направлений на досягнення Глобальних Цілей Сталого розвитку (ЦСР 11: Сталий розвиток міст та громад; ЦСР 13: Пом'якшення наслідків зміни клімату; ЦСР 15: Захист та відновлення екосистем суші). Алгоритм буде корисним у разі впровадження принципів інтегрального оцінювання водних ресурсів, у тому числі малих річок.

Особистий внесок здобувача.

Дисертація є самостійною роботою автора. Здобувачем проведено оцінку стану р. Унава за індикаторним підходом та розроблено програму відновлення річкового стану та підтримки належного екологічного стану водного об'єкту. Авторка дисертації самостійно спланувала роботу, розробила протоколи польових виїзних турів відбору проб води, провела обґрунтування, аналіз даних, опрацювала висновки та написала текст дисертації. Інтерпретацію окремих спостережень, фактів, закономірностей та розробка рисунків виконано з урахуванням порад та консультацій наукового керівника. Друковані праці підготовлено у співавторстві.

Апробація отриманих результатів дослідження. Основні результати дослідження дисертації було представлено та обговорено на Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія – філософія існування людства» (м. Київ, 23-24 квітня 2025 р.); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія – виклики сучасності» (м. Київ, 26-27 вересня 2024 р.); II Міжнародному конгресі біологічних та медичних наук (Туреччина, 24-27 лютого 2022 р.); XIII Міжнародному сільськогосподарському симпозіумі «Agrosym-2022» (Боснія і Герцеговина, 6-9 жовтня 2022 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції аспірантів та молодих вчених «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки» (Київ, 25-26 жовтня 2022 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації основні результати досліджень опубліковано у 8 наукових працях, зокрема, у 3 статтях у фахових виданнях України, а також 5 тез та матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та рекомендацій, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 179 сторінок. Дисертація містить 21 таблицю, 28 рисунків, 10 сторінок – додатки. У списку використаних джерел 135 найменувань, з них 44 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ РІЧКОВОЇ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

1.1. Річкова система України

1.1.1. Гідрографічна мережа

Річкова система – це водний потік, що протікає у видовжених зниженнях земної кори, утворюючи власне русло. Річки можуть впадати в океани, моря або озера. Головною вважається та річка, яка безпосередньо впадає в один із цих водних об'єктів, а річки, що вливаються в неї називаються притоками. За розміром річки поділяються на великі, середні та малі.

Сукупність річок, озер та інших водойм на певній території утворює гідрографічну сітку, до якої також належать канали та болота. Вона формувалася впродовж тривалого часу під впливом кліматичних, геологічних, та інших чинників і продовжує змінюватися й сьогодні [76].

Дослідженнями річкової мережі України займалися науковці Є. В. Опоков, В. Ю. Стельмах, М. М. Мельнійчук, В. К. Хільчевський, В. В. Гребінь, М. І. Локоть та установи: Інститут гідробіології НАН України, Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України (УкрГМІ), Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне) та інші.

Гідрографічна мережа – сукупність річок та інших постійних водних потоків, а також озер, водосховищ, боліт та інших водойм, розташованих на певній території. Водночас до гідрографічної мережі не належать невеликі тимчасові водотоки, які з'являються лише під час танення снігу або випадання дощів, а також водні скупчення, що утворюються в численних дрібних зниженнях рельєфу.

Річкова мережа певної території є складовою частиною гідрографічної мережі та включає здебільшого значні та постійні водні потоки.

Річкова мережа – це частина руслової системи, яка включає чітко визначені русла постійних водних потоків. Під русловою мережею розуміють сукупність русел усіх водотоків, що знаходяться на певній території.

Структура та особливості річкової мережі залежать від фізико-географічних умов, які визначають кількість й інтенсивність надходження води на сушу (кліматичні чинники) та стійкість поверхні до ерозії (геоморфологічні чинники). У результаті взаємодії цих чинників формуються специфічні риси річкової мережі, її просторовий вигляд та форма річкових долин.

Річкова мережа є кінцевим результатом фізико-географічних процесів та виступає як комплексний показник цього процесу. Вона не є випадковим поєднанням числених шляхів стоку поверхневих вод, а відображає складні фізичні процеси, які відбуваються на конкретній території.

Верхня частина гідрографічної мережі, яка зазвичай не має постійних водотоків, називається суходільною мережею. Вона включає такі компоненти, як улоговини, видолинки та суходоли. Формування основних характеристик цих елементів річкової мережі (розміру, глибини врізу та крутизни схилів) є тривалим процесом.

Улоговина – це верхня частина гідрографічної мережі, яка виглядає як слабо виражена видовжена заглибина водно-ерозійного походження. Вона має пологі, зазвичай вкриті трав'янистою рослинністю схили та рівне увігнуте похиле дно.

Улоговини зазвичай формуються на водозбірних площах розміром 10-15 га в районах зі слабким розчленуванням та близько 50 га в сильно розчленованих місцевостях природно-територіального комплексу (ПТК). Коли кілька улоговин зливаються, утворюється більш виразне ерозійне заглиблення – видолинок. Це наступний елемент гідрографічної мережі, що

вирізняється більшою глибиною, висотою та крутизною схилів, а також появою ознак донного та берегового розмиву.

Видолинки накопичують воду із площ від 10-15 га до 10-15 км² у районах зі слабкою розчленованістю та від 50 га до кількох квадратних кілометрів у сильно розчленованих місцевостях.

Будівництво великих водосховищ, зрошувальних каналів та інша господарська діяльність людини певною мірою впливає на конфігурацію гідрографічної мережі. До її складу входить також руслова мережа, являє собою сукупність русел усіх водотоків на визначеній території [76]. Якщо кілька річок об'єднуються в єдину систему й разом несуть свої води до спільного водного об'єкта, то вони й формують річкову систему.

Початок річки називається виток. Вона може мати початок із джерел, струмків, льодовиків, озер або боліт. Якщо річка формується внаслідок злиття двох водотоків, точка їхнього об'єднання вважається виток. У своєму руслі річка забезпечує стік води та наносів, де відбуваються ерозійно-аккумулятивні процеси. За напрямком течії розрізняють правий та лівий береги.

Місце, де річка впадає в іншу річку, озеро або море, називається гирлом. Якщо річка розгалужується на кілька рукавів, гирлом вважається найбільший із них. Якщо річка відкладає багато наносів і формує багаторукавне гирло, то таке утворення називають дельтою. Якщо ж річка впадає в море одним широким руслом, це називають естуарієм, а затоплені морем пригорлові частини долини – лиманами [106].

Розгалуженість річкової мережі залежить від рельєфу, геологічної будови та кліматичних умов, збільшуючись із висотою місцевості [76].

За даними В. Ю. Стельмаха та М. М. Мельнічука [106], густота річкової мережі визначається коефіцієнтом густоти, який представляє собою відношення загальної довжини всіх водотоків на певній території до площі цієї території. На цей показник впливають різні природні чинники, зокрема клімат, рельєф, геологічна будова, тип ґрунтів і рослинність. Густота мережі

варіюється: на півночі вона зазвичай вища, ніж на півдні, а в гірських районах перевищує показники рівнинних територій [106].

Суходіл – це переддолинний елемент гідрографічної мережі, який не має постійного водотоку. Він вирізняється асиметрією схилів і наявністю звивистого русла, яке наповнюється водою лише тимчасово. Суходоли формуються при площах водозбору біля 10-15 км², а в умовах слабо вираженого рельєфу – до 20-25 км². Зі збільшенням водозбору починаються прояви процесів берегового та донного розмиву, а русло при цьому поступово змінює своє положення. Злиття суходолів призводить до утворення річкової долини.

Річкова долина є нижньою частиною гідрографічної мережі, де розташоване річкове русло. Вона являє собою видовжену заглибину на земній поверхні, сформовану під впливом водних потоків, і містить сучасне русло. Як кінцевий елемент гідрографічної мережі, долина є зоною постійного річкового потоку. Вона має значні розміри, що можуть вимірюватися десятками, сотнями або навіть тисячами кілометрів, і відзначається чітко вираженою водною діяльністю.

Існує два основних типи річкових долин: для першого типу характерним є чергування крутих увігнутих і пологих опуклих берегів з обох боків; другого - круті увігнуті берега, на яких часто можна спостерігати оголення корінних порід, тоді як пологі береги поступово переходять у навколишній рельєф і менш помітні.

За результатами досліджень В. Ю. Стельмаха та М. М. Мельнічука, такі долини, які утворюють заплаву, зазвичай мають складну структуру та розчленовані глибоким руслом, що пролягає вздовж крутих ділянок берегів. Таке русло нерівномірне та може мати переривчастий характер. Заплава характеризується значними ухилами, які досягають 14-17°. Такий тип долини є типовим для багатьох височин.

Долини другого типу відрізняються широкою заплавою та крутим високим берегом з одного боку, складеним корінними породами. Річкове

русло в таких долинах розташоване на заплавних відкладах. Подібні долини характерні для річок Полісся. У районах із вираженою ерозією гідрографічна мережа займає приблизно 10-15 % загальної площі водозбору, а в інших випадках цей показник може досягти 30 % [106].

Залежно від умов протікання води річки поділяють на:

- *рівнинні*, для яких число Фруда менше 0,1;
- *напівгірські*, для яких число Фруда знаходиться в межах 0,1-1,0;
- *гірські*, для яких число Фруда перевищує 1,0.

У річках перших двох типів течія зазвичай спокійна, тоді як у гірських річках вона має бурхливий характер.

Класифікація річок також може здійснюватися за іншими ознаками [106]:

- *За джерелами живлення*: снігові, дощові, льодовикові, підземні та змішені;
- *За водним режимом*: річки з весняним водопіллям, водопіллям у теплу пору року та паводковим режимом;
- *За льодовим режимом*: замерзаючі та незамерзаючі;
- *За стійкістю русла*: стабільні та нестабільні річки [106].

Основними показниками, що відображають особливості розвитку річкових систем та процесів формування поверхневого стоку, є площа водозбірних басейнів кількість і протяжність річок; густота їхньої мережі; ухил річкового русла та характеристики долин.

Територія України вкрита розгалуженою мережею річкових долин, які включають балки та яри з різноманітними водотоками – від невеликих тимчасових струмків до великих водних артерій, таких як Дніпро, Дністер і Сіверський Донець.

Річки України належать до трьох морських басейнів: Чорного, Азовського та Балтійського морів. Основна частина територій країни (98 %) належить до басейнів Чорного та Азовського морів, тоді як лише 2 % припадає на басейн Балтійського моря.

Загальна кількість річок в Україні з роками суттєво змінюється (рис. 1.1). Зокрема, у 1953 році в Україні налічувалося 22197 річок, у 1971 – 72779 річок, в 2014 році їхня кількість зменшилася до 63119 річок. Ці кількості включають великі, середні та малі річки [80, 82, 125, 127].

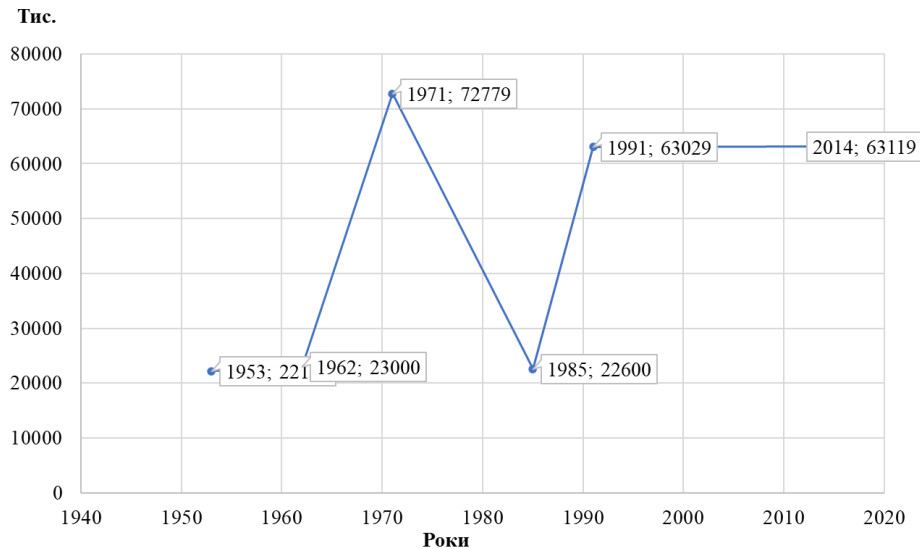


Рис. 1.1 Розподіл річок в Україні за роками (розроблено за матеріалами [80, 82, 125, 127])

Річкову мережу України поділяють на кілька основних водозбірних басейнів (рис. 1.2), які характеризуються своєю специфікою.

Басейн Вісли охоплює річки північного заходу України, які є притоками Сяну та Західного Бугу. Гідрографічна мережа басейну включає 137 річок із площею водозбору понад 10 км², 10 озер площею 0,5 км², 12 водосховищ [90].

Басейн Дунаю включає усі річки Закарпаття, зокрема, верхів'я Тиси, разом із правими притоками, та частину середніх приток (Уж і Латориця). Сюди також відносять верхів'я Серету та Прута, а також кілька річок, що впадають у Дунай, та придунайські озера нижче гирла Прута. Гідрографічна мережа басейну налічує 335 річок із площею водозбору понад 10 км², 16 озер площею 0,5 км² [94].

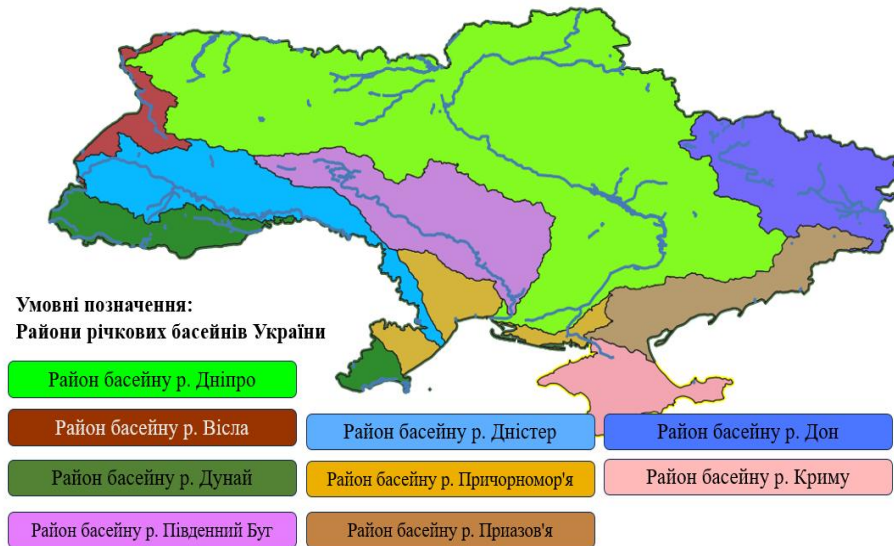


Рис. 1.2 Розподіл постійних водотоків за басейнами великих річок (розроблено за матеріалами [76, 128] з використанням програмного забезпечення QGIS та Canva)

Басейн Дністра охоплює водотоки зі східних схилів Українських Карпат та річки Подільської височини. Основні притоки цього басейну – Стрий, Свіча, Ломниця, Бистриця, Золота Липа, Збруч та інші. Гідрографічна мережа басейну включає 499 річок із площею водозбору понад 10 км² та 33 водосховища [92].

Басейн Південного Бугу охоплює річки Подільської та Придніпровської височини. Основними його притоками є Кодима, Синюха, Гнилий та Гірський Тікич, Ятрань, Чичиклія та Інгул. Гідрографічна мережа басейну включає 301 річку із площею водозбору понад 10 км² та 164 водосховища [95].

Басейн Дніпра протяжністю 1120 км перетинає територію України з півночі на південь. До нього відносяться правобережні притоки Прип'яті: Турія, Стохід, Стир, Горинь, Уборть, Случ та Уж. Серед основних приток самого Дніпра виділяють Тетерів, Ірпінь, Десну, Рось, Сулу, Тясмин, Псел, Ворсклу, Орель, Самару, Інгулець та інші. Гідрографічна мережа району басейну р. Дніпро включає 1311 річок із площею водозбору понад 10 км², 320 водосховищ, 16 озер (з площею водного дзеркала понад 0,5 км²) [91].

На північному сході України розташований *басейн Сіверського Дінця*, який є правою притокою Дону. Верхів'я та гирло Сіверського Дінця знаходяться поза межами України. Основними його притоками є Оскіл, Айдар, Казенний Торець, Бахмут, Лугань, Деркул та Велика Кам'янка. Гідрографічна мережа басейну включає 252 річки із площею водозбору понад 10 км² та 31 водосховище [93].

Між річками Дунай та Дністер, а також між Дністром і Південним Бугом, знаходиться невелика *група річок Причорноморської низовини (басейн річок Причорномор'я)*. Серед значущих річок цього регіону – Могильник, Великий, Малий та Середній Куяльник, Тилігул, які впадають у лимани Чорного моря, а деякі – безпосередньо в море.

На території між Дніпром і Сіверським Дінцем, а також на північному узбережжі Азовського моря (*район басейну річок Приазов'я*), розташовані такі річки, як Молочна, Берда, Кальміус та Міус, які впадають в Азовське море та його затоки.

Загальну кількість річок у структурі басейнів України наведено на рисунку 1.3. Слід зазначити, що загальна кількість річок із площею водозбору понад 10 км² станом на 2024 рік складає 3355 [91-94].

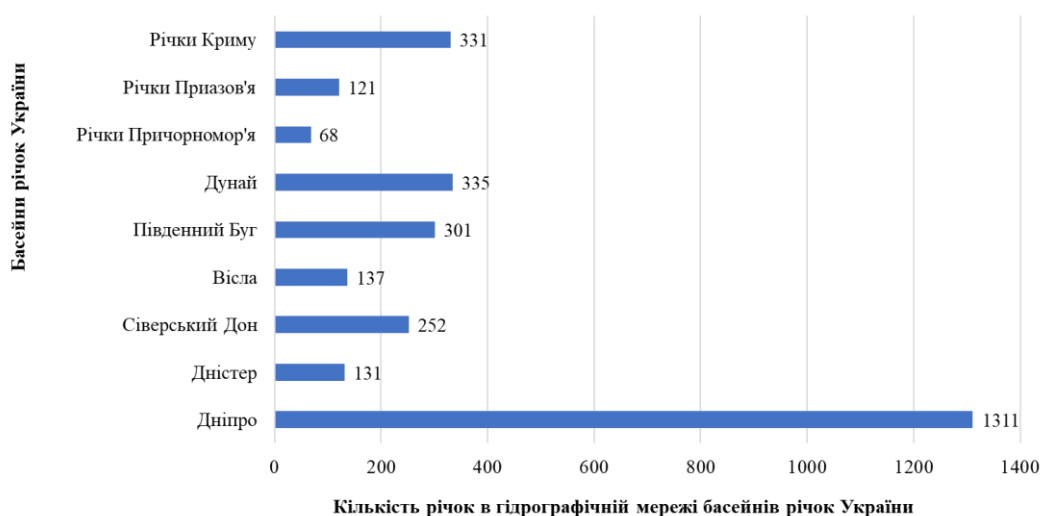


Рис. 1.3 Розподіл річок із площею водозбору більше 10 км² за басейнами (розроблено за матеріалами [91-94])

1.1.2. Великі річки та їхнє значення

У науковій роботі «Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі» В. В.Гребінь та В. К. Хільчевський [127] пропонують поділ річок України на три категорії: *малі річки* – з площею водозбору менше ніж 2 тис. км²; *середні річки* – від 2 до 50 тис. км²; *великі річки* – понад 50 тис. км².

Таку диференціацію було закріплено у Водному Кодексі України (1995) [131]. Вона відрізняється від типології річок, прийнятій у Водній рамковій директиві ЄС, де діапазони площ водозборів мають інші значення.

Сьогодні одним із джерел інформації про річки України є довідник, підготовлений М. М. Паламарчуком та Н. Б. Закорчовною [126] на замовлення Державного агентства водних ресурсів України у 2001 році. Згідно з цим виданням, на території України нараховується 63119 річок і струмків із сумарною довжиною понад 206 тис. км². Приблизно 60 тис. із них – це дуже малі водотоки завдовжки до 10 км, сумарна довжина яких становить 112 тис. км, що відповідає середній довжині одного такого потоку в 1,9 км. Малі річки, довжина яких перевищує 10 км, налічують 3212 водотоків із загальною протяжністю близько 74 тис. км.

До великих річок України, площа водозбору яких перевищує 50 тис. км², належать вісім водних об'єктів: Дунай, Тиса, Дністер, Південний Буг, Дніпро, Прип'ять, Десна та Сіверський Донець. Усі вони входять до басейну Чорного моря. Водозбірні площі цих річок охоплюють кілька географічних зон та геоморфологічних регіонів.

До великих річок України відносять [91-94, 125]:

- р. Дунай (впадає в Чорне море), загальна площа водозбору становить 817 тис. км²;
- р. Дніпро (впадає у Чорне море), загальна площа водозбору становить 504 тис. км²;

- р. Прип'ять (впадає у р. Дніпро), загальна площа водозбору становить 121 тис. км²;
- р. Тиса (впадає у р. Дунай), загальна площа водозбору становить 153 тис. км²;
- р. Сіверський Донець (впадає у р. Дон), загальна площа водозбору становить 98,9 тис. км²;
- р. Десна (впадає у р. Дніпро), загальна площа водозбору становить 88,9 тис. км²;
- р. Дністер (впадає у Чорне море), загальна площа водозбору становить 72,1 тис. км²;
- р. Південний Буг (впадає у Чорне море), загальна площа водозбору становить 63,7 тис. км².

Західний Буг є річкою середнього розміру. Проте в деяких публікаціях його помилково зараховують до великих річок України, що нібито збільшує їхню кількість до дев'яти. Це непорозуміння пов'язане з тим, що не враховуються значні гідрографічні зміни, які відбулися ще в 1960-х роках і були визнані міжнародною спільнотою (за винятком колишнього СРСР).

У 1962 році рішенням уряду Польщі було змінено порядок злиття деяких приток Вісли: Західний Буг став притокою річки Нарев, яка так само отримала статус притоки першого порядку для Вісли. Раніше вважалося, що Західний Буг впадає у Віслу, а Нарев є його притокою. Внаслідок цих змін площа басейну Західного Бугу зменшилась до 39580 км² (замість попередніх 73470 км²), тоді як площа басейну Нареву зросла.

Це питання було вперше детально розглянуто в публікації В. К. Хільчевського, В. В. Гребня та М. Р. Забокрицької (2016) [128], де автори надали його всебічний аналіз. Зважаючи на активну участь України в євроінтеграційних процесах у сфері управління водними ресурсами, це питання має трактуватися однозначно та відповідати міжнародним стандартам.

Як зазначив А. В. Яцик [82], основним джерелом забруднення цих водойм є промислові підприємства, на які припадає 63,4 % загального обсягу скиду стоків у водні об'єкти. На другому місці за розмірами внесеного забруднення знаходяться стоки підприємств житлово-комунального господарства (ЖКГ) (20,0 % загального обсягу) [6]. На сільське господарство припадає ще 16,6 % обсягу забруднення, що надходить до малих річок. Загальна кількість стічних вод, які потрапляють у річкову мережу України, сягає 65 % загального ресурсу річкового стоку за рік [102].

На рисунку 1.4 наведено характеристику ключових соціально-економічних функцій великих річок та їхню роль у розвитку держави.



Рис. 1.4 Значення великих річок у соціально-економічному розвитку держави (власна розробка з використанням програмного забезпечення QGIS та Canva)

Великі річки є головними джерелами забезпечення водою народного господарства, урбаністичної забудови, аграрного сектору економіки. Сільське господарство потребує відповідної якості воду для напування тварин та розвитку рослинництва (системи зрошення). Урбанізація – це міста, охоплені науково-технічним прогресом, населення якого потребує подачі води високої якості, а також потребує відповідних зон для рекреації, спортивної риболовлі, плавання тощо.

Варто підкреслити, що великі річки відіграють ключову роль у соціальному, економічному та екологічному розвитку країни. Їхнє екологічне значення полягає в підтримці водних екосистем та забезпеченні стабільного функціонування водних шляхів, що є важливими для розвитку судноплавства. Економічне значення малих річок проявляється у сприянні розвитку сільського господарства, зокрема через використання систем зрошення, що забезпечує високі врожаї, особливо в посушливих регіонах України. Соціальна роль полягає в забезпеченні населення та підприємств якісною водою, створенні можливостей для рекреації та занять водними видами спорту.

1.1.3. Малі річки та їхнє значення

Малі річки є важливою складовою природного середовища, підтримуючи збалансоване функціонування та стабільний екологічний стан великих і середніх водних артерій. Аналіз річкової мережі України в аспекті екологічних проблем малих річок і основних водозбірних басейнів засвідчив про те, що зростаючий антропогенний вплив призводить до поступового зникнення цих водних об'єктів.

Згідно з дослідженнями С. М. Середюк та О. В. Луньової [102] та відповідно до Водного Кодексу України (ст. 79) [131], малі річки визначаються як водотоки з площею водозбірного басейну до 2000 км², які розташовані в межах однієї фізико-географічної зони зі специфічним для неї гідрологічним режимом.

За критерієм довжини до малих річок належать ті, що не перевищують 100 км. Проте ця класифікація є відносною, оскільки не завжди відображає специфіку природних умов водозбірного басейну. Наприклад, у степовій зоні, де гідрографічна мережа розвинена слабо, водотік завдовжки до 100 км може вважатися значним і навіть бути основним регіональним джерелом водопостачання. Натомість у північних регіонах із густою річковою мережею до малих річок подекуди слід відносити водотоки, довжина яких перевищує 200 км [74].

Малі річки відіграють ключову роль у формуванні водних ресурсів, визначають якість води та гідрохімічний режим середніх і великих річок, а також впливають на формування природних ландшафтів великих територій. Зворотний вплив також присутній: стан басейнів малих річок залежить від умов регіональних ландшафтних комплексів [74]. На території України станом на 2020 р. налічувалося 63029 малих річок та водотоків загальною протяжністю 185,8 тис. км, більшість із яких належать до басейнів Чорного та Азовського морів, а лише 2 % площі припадають на басейн Балтійського моря [102].

Розподіл малих річок України за основними водозбірними басейнами має такі особливості (рис.1.5) [91-94, 129]:

- *Басейн р. Вісла*: малі річки північного заходу України, охоплюють 2,1 % території, до яких відносять 3110 малих річок загальною довжиною 7 тис. км із середньою густотою річкової мережі 0,58 км/км²;
- *Басейн р. Дунаю*: охоплює річки Тису, Прут та кілька інших водотоків, що впадають у Дунай або придунайські озера. Загальна площа становить 5,3 % території України, із 17612 малими річками загальною довжиною 35,2 тис. км і середньою густотою мережі 1,12 км/км² (у Карпатах до 1,7 км/км²);
- *Басейн р. Дністра*: охоплює 8,7 % площі країни, включаючи річки східних схилів Українських Карпат та південно-західних частин Подільської

височини. Тут налічується 14886 малих річок загальною довжиною 32,3 тис. км, середня густота – 0,65 км/км²;

- *Басейн р. Південного Бугу*: об'єднує річки Подільської та Придніпровської височини, охоплюючи 10,6 % території. Тут розташовано 6638 малих річок загальною довжиною 20,1 тис. км та середньою густотою мережі 0,35 км/км²;

- *Басейн р. Дніпра*: найбільший за площею водозбірний басейн України, що займає 48,5 % території країни. У його межах розташовано 15381 мала річка загальною довжиною 67,2 тис. км, середня густота мережі становить 0,27 км/км²;

- *Північночорноморський басейн*: охоплює річки, що течуть між Дунаєм і Дністром, а також між Дністром і Південним Бугом, у Причорноморській низовині. Тут налічується 1702 малі річки загальною довжиною 6,6 тис. км (зокрема, 986 – у Криму), із середньою густотою 0,15 км/км²;

- *Басейн Сіверського Дінця (притока Дону)*: займає 9,1 % території України, включає 1489 малих річок загальною довжиною 8,8 тис. км і середньою густотою 0,20 км/км²;

- *Приазовський басейн*: включає річки, що впадають в Азовське море, а також річки Криму. Охоплює 7,8 % території України, тут налічується 2213 малих річок загальною довжиною 8,7 тис. км, у тому числі 602 річки в Криму (2,4 тис. км). Середня густота мережі складає 0,20 км/км² [129].

Близько 60 тисяч (приблизно 95 %) із понад 63 тисяч малих річок в Україні є дуже малими, довжиною менше ніж 10 км. Загальна протяжність цих водотоків становить 112,1 тис. км. Водночас лише 3212 малих річок мають довжину понад 10 км сумарною довжиною близько 73,6 тис. км. Зокрема, у басейні Дніпра налічується 1383 таких річок (43 %) загальною довжиною 32,1 тис. км, у басейні Дністра – 453 річки (14 %) протяжністю 10,6 тис. км, а в басейні Південного Бугу – 367 річок (11,4 %) [82].

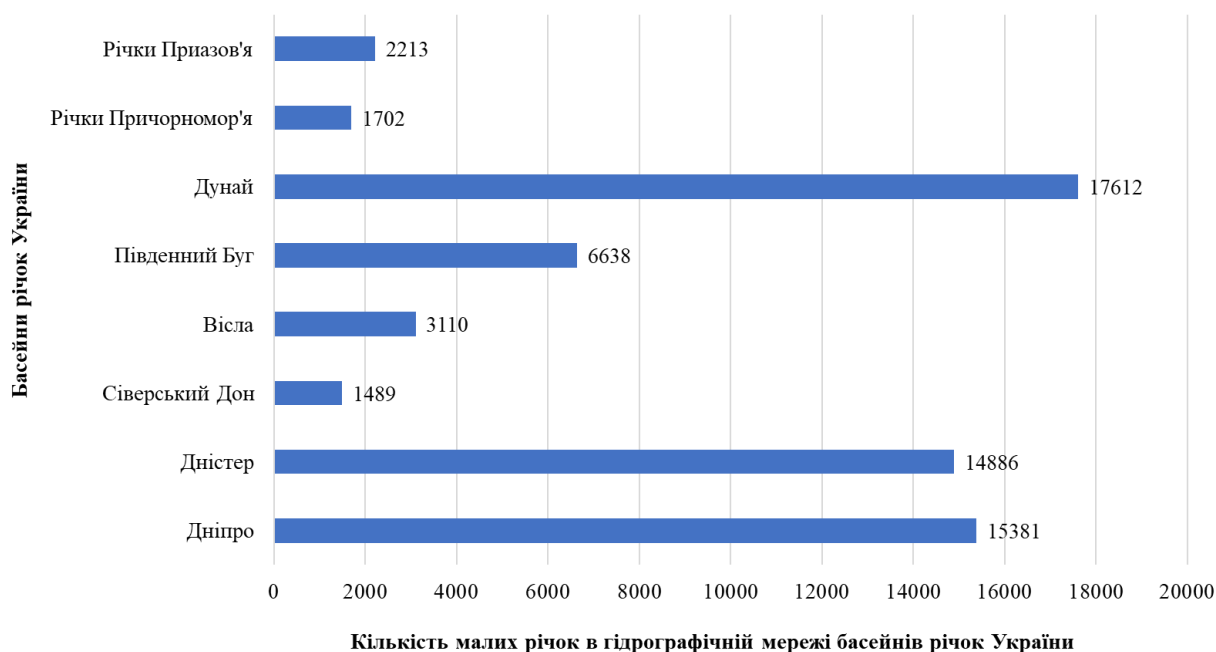


Рис. 1.5 Розподіл малих річок в розрізі басейнів України (розроблено за матеріалами [91-94, 129] станом на 2024 р.)

Варто зазначити, що понад 60 % водних ресурсів України формуються саме в басейнах малих річок. Вони слугують джерелом для основних водних артерій країни, а їхні ресурси стають невіддільною частиною загальних водних запасів. У багатьох випадках малі річки є головним, а іноді й єдиним джерелом водопостачання для місцевих громад, що впливає на розвиток і розміщення місцевих водокористувачів. Особливо чутливі до антропогенних впливів малі річки, особливо до розорювання території їхніх водозборів [103].

Водні ресурси малих річок відіграють ключову роль у забезпеченні потреб різних секторів економіки. Їхня кількість та якість визначають можливість задоволення зростаючих потреб промисловості, сільського господарства, комунально-побутових та рекреаційних потреб населення, що є основою сталого соціально-економічного розвитку регіонів. Водночас інтенсивна експлуатація малих річок призводить до їхнього висихання, замулення, заростання та навіть зникнення.

Активне залучення водних ресурсів малих річок у господарський обіг, їхнє забруднення та зміни гідрологічного режиму у водозбірних басейнах

порушують природний баланс. Це знижує якість водних ресурсів, сприяє переважанню деградаційних процесів над природними механізмами самоочищення водойм.

Основними причинами цих негативних явищ є знеліснення, порушення вікової та породної структури лісів, висока розораність та еродованість земель, а також проведення осушувальної меліорації без належного екологічного обґрунтування. Відсутність водоохоронних зон та прибережних захисних смуг законодавчо встановлених розмірів поглиблює ці проблеми. Такі умови підвищують ризик формування руйнівних повеней, що завдають значних збитків господарству.

Надмірне зарегулювання стоку малих річок гідротехнічними спорудами призводить до втрати їхніх природних функцій, що неминуче впливає на стан основних басейнових річок. Унаслідок цього значна частина малих річок та водотоків в Україні перебуває на різних етапах деградації. Вони поступово втрачають водність, якість води в них погіршується, а багато з них перебувають під загрозою повного зникнення.

Варто зазначити, що понад 90 % малих річок зазнають забруднення сільськогосподарськими стоками, як поверхневими, так і підземними. Основною причиною цього є порушення технологій внесення агрохімікатів на сільськогосподарських угіддях, що особливо актуально для колекторно-дренажних вод зрошуваних полів. Зростання площ зрошуваних земель із розвинутою інфраструктурою спричиняє значні зміни в природному середовищі: змінюються гідрогеологічні та геологічні умови, погіршується гідрохімічний режим, змінюються процеси ґрунтоутворення, порушується гідробіологічний стан водних об'єктів і навіть мікроклімат приземних шарів атмосфери. Для забезпечення зрошення в Україні було збудовано численні водосховища, ставки, канали та зрошувальні системи, зосереджені переважно в Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій, Дніпропетровській областях, АР Крим та Донецькій області. Така ситуація призводить до виснаження водних ресурсів малих річок цих регіонів і сприяє їхній деградації.

Склад мінеральних солей, що вимиваються з ґрунту, визначається рівнем і характером його засоленості, умовами зрошення та станом колекторно-дренажної системи. У разі застосування мінеральних та органічних добрив, а також засобів захисту рослин, значна частка забруднюючих речовин у стоках із сільськогосподарських угідь припадає на сполуки азоту, фосфору, органічні речовини та пестициди. Це негативно позначається на біологічних компонентах водних екосистем, порушуючи природні процеси їхнього самоочищення та відновлення. Зростання інтенсивності ерозійних процесів, спричинених збільшенням ступеня розораності земель, особливо в умовах зрошення, призводить до вимивання значної кількості мінеральних і завислих часток. Це не лише збільшує забруднення водних об'єктів, а й прискорює процеси евтрофікації та порушення природного живлення водойм. Стік містить завислі частки, розчинені мінеральні та органічні речовини, включаючи агрохімікати.

В останні роки внаслідок збільшення поголів'я худоби в приватних господарствах, а також через будівництво великих тваринницьких ферм і комплексів, місця випасу та утримання тварин фактично залишаються поза контролем місцевої влади. Це призводить до суттєвого збільшення забруднення малих річок, зокрема біогенними речовинами [102]. Найбільший вплив антропогенних чинників на водно-екологічну систему малих річок спостерігається у водотоках із каналізованими руслами, розораними заплавами та наявністю джерел забруднених стоків.

Меншою мірою такі негативні наслідки проявляються в річках із збереженою природною заплавою. Найбільш стійкими до антропогенних впливів є водотоки, які мають непорушені русла, природні заплави, до яких не надходять забруднені стоки. Важливу роль у збереженні екологічного стану таких річок відіграє дотримання вимог Водного кодексу України [131] щодо створення прибережних захисних смуг, де заборонено будь-яку господарську діяльність.

Нижче наводимо кілька прикладів впливу антропогенної діяльності в межах областей України.

У Дніпропетровській області основною водною артерією є річка Дніпро, довжина якого в обласних межах становить 261 км. Її найбільші притоки, що починаються за межами області, – Оріль, Самара з Вовчою та Інгулець. Ці річки характеризуються стабільністю водного режиму живлення і являються важливими джерелами водопостачання регіону. Серед притоків Дніпра, басейни яких повністю знаходяться в межах області, виділяються Мокра Сура та Базавлук. Загальна довжина всіх водотоків області, включно зі 146 малими річками та самим Дніпром, становить 4926 км.

Однак значення цих водних ресурсів суттєво різняться. Двадцять шість малих річок (Водяна, Воронка, Солона та інші) майже повністю замулилися і втратили свою господарчу функцію як джерела водопостачання та водоспоживання. Водночас 88 річок (зокрема, Кам'янка, Берестова, Татарка, Чаплинка, Тритузна, Прядівка) були зарегульовані за допомогою системи водоймищ і тепер використовуються для зрошення, рибництва та інших господарських потреб.

Деякі водні об'єкти, як-от річки Суха Сура та Широка, були перетворені на водойми-накопичувачі для стічних вод міст Кривий Ріг та Дніпродзержинськ. Крім того, три річки – Гніздка, Кочерга та Крушевата – використовуються як колектори для відведення очищених стічних вод міста Павлоград.

Екологічні проблеми малих річок Дніпропетровської області відображають загальну ситуацію в Україні. Щороку до них скидається до 40 % забруднених вод від загального обсягу забруднень в області. Ситуацію ускладнює надходження великої кількості часток ґрунту через розорювання прибережних зон, розміщення господарських об'єктів та тваринницьких ферм у водоохоронних зонах. Більшість малих річок мають порушений водний баланс, зменшений стік, часто пересихають та замулюються. Якість їхньої

води погіршується, донні відклади акумулюють забруднювачі антропогенного походження, що призводить до прогресуючого забруднення [120].

Додатковий негативний вплив спричиняють шахтні води Західного Донбасу. Щорічно у малі річки скидається близько 30 млн м³ шахтних вод із високою мінералізацією (від 3 до 20 г/дм³), що підвищує концентрацію солей у водах річок до 3-4 г/дм³, тоді як допустимий рівень солевмісту прісних вод повинен не перевищувати 1 г/дм³. У водах річки Самара виявляють важкі метали (цинк, нікель, кобальт, свинець, олово), щорічно у води річки потрапляють 23 тонни таких забруднювачів. Переповнення ставків-накопичувачів у балках Косьмина, Таранова, Свідовок та Мікуліна веде до додаткового скидання шахтних вод у малі річки.

Річки Бик та Вовча, які є притоками Самари, приносять забруднювачі з Центрального Донбасу в обсязі близько 90 млн м³ на рік. Це спричиняє підвищення загальної мінералізації води в Самарі: у межень між селами Коханівка та Петрівка вона становить 2,0-3,0 г/дм³, а нижче гирла річки Тернова досягає 4,0-5,0 г/дм³. У районі села Кочерижки цей показник дещо знижується до 2,6-3,2 г/дм³.

У Криворізькому залізрудному басейні щорічно відкачується понад 60 млн м³ шахтних вод із високою мінералізацією (15-120 г/дм³). Частина цієї води накопичується у хвостосховищах, а близько 15-20 млн м³ скидається у річку Інгулець та малі річки регіону. Також відбувається фільтрація забрудненої води в підземні водоносні горизонти, що призводить до їхнього забруднення та підтоплення прилеглих земель.

Додаткові екологічні проблеми створюють техногенні озера, які утворюються внаслідок просідання ґрунту в процесі видобутку корисних копалин, як це сталося у заплаві річки Самара біля шахт «Павлоградська» та «Благодатна». Тут з'явилися чотири озера з мінералізацією води від 3,0 до 27,0 г/дм³. Заповнення цих водойм шахтною породою, насиченою мінеральними сполуками, спричиняє різке зростання мінералізації як поверхневих, так і підземних вод [125].

Саме тому варто надавати особливу перевагу розробці науково-обґрунтованого алгоритму оцінювання якості екологічного стану малих річок та збереження їхнього річкового стоку й заплав.

Для відновлення екосистем малих водотоків першочерговим завданням має бути усунення основних причин їхньої деградації. Серед ефективних заходів можна виділити відновлення природного профілю русла та очищення водоносних горизонтів. Для цього необхідно визначити критичні умови, за яких починається процес замулення та деградації, а також дослідити параметри руслоформуючих витрат і встановити екологічно обґрунтовані обсяги стоку для малих річок.

Для відновлення гідрохімічного фону малих річок необхідно суворо дотримуватись чинних державних норм очищення та скиду стічних вод, а також забезпечити контроль якості води не лише за показниками гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин, але й з урахуванням історично сформованих фонових концентрацій.

Отже, водно-екологічна система малих річок (рис. 1.6) має важливе екологічне значення для підтримки нормального функціонування поверхневих і підземних водних ресурсів. Водночас вона відіграє значну соціальну роль, задовольняючи рекреаційні потреби населення, та економічну, забезпечуючи розвиток таких галузей, як рибальство.

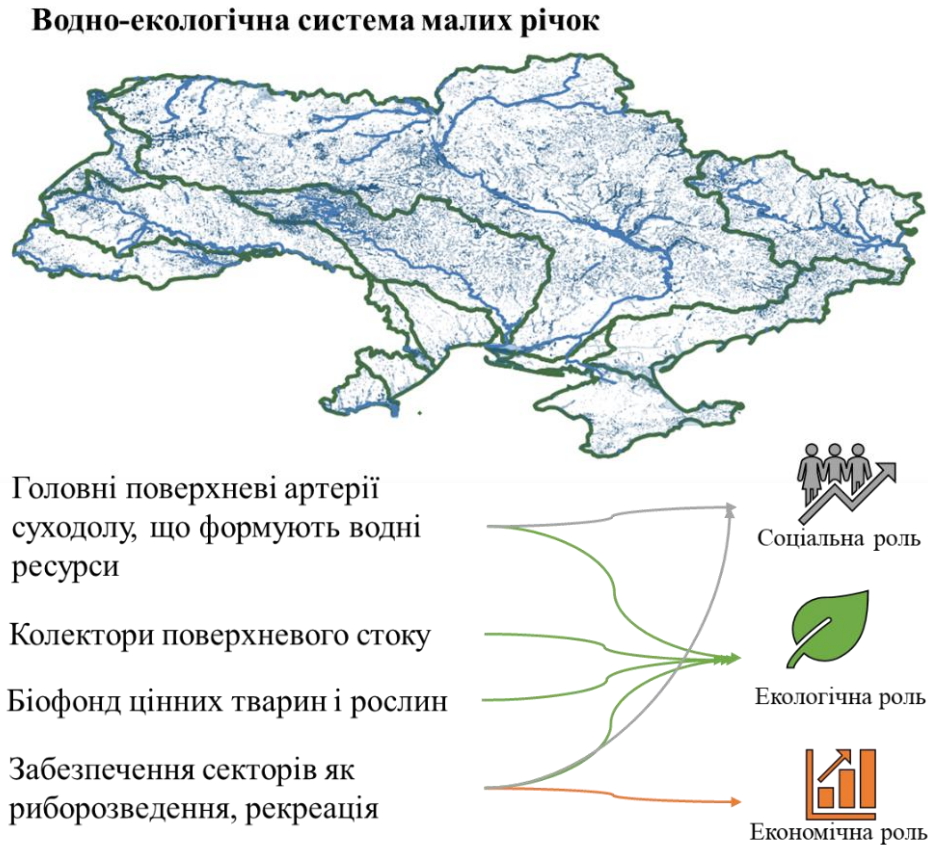


Рис. 1.6 Значення малих річок у соціально-економічному розвитку держави (власна розробка з використанням програмного забезпечення QGIS та Canva)

1.2. Система управління водними ресурсами

Система управління водними ресурсами України, починаючи із 2017 року, базується на басейновому принципі, який передбачає охорону та збереження водних артерій України в межах басейнів річок. Опис басейнів річок наведено у розділі 1.1.

В Україні основні зобов'язання щодо реалізації державної політики у сфері розвитку водного господарства, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів покладено на Державне агентство водних ресурсів України. Цей орган підпорядковується та координується Кабінетом Міністрів України через Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів.

Головним завданням Державного агентства водних ресурсів є впровадження державної політики щодо управління та використання поверхневих водних ресурсів, розвитку водного господарства та надання пропозицій щодо формування відповідної державної політики.

Структурні підрозділи Державного агентства водних ресурсів [88]:

- Басейнові офіси управління водними ресурсами;
- Регіональні офіси водних ресурсів;
- Управління водних каналів;
- Державні підприємства водного господарства.

Варто зазначити, що система управління водними ресурсами України включає два основних рівні (рис. 1.7):

1. Національний рівень:

- Відповідає за формування водної політики та реалізацію Водної Стратегії України до 2050 року;
- Управління здійснюється Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України;
- Державне агентство водних ресурсів України розробляє та впроваджує План інтегрального управління водними ресурсами, забезпечує управління річковими басейнами через басейнові ради та регіональні підрозділи.

2. Регіональний рівень:

- Забезпечує реалізацію водної стратегії та території басейнів (суббасейнів) річок України;
- Здійснюється через басейнові ради та територіальні органи управління водними ресурсами.

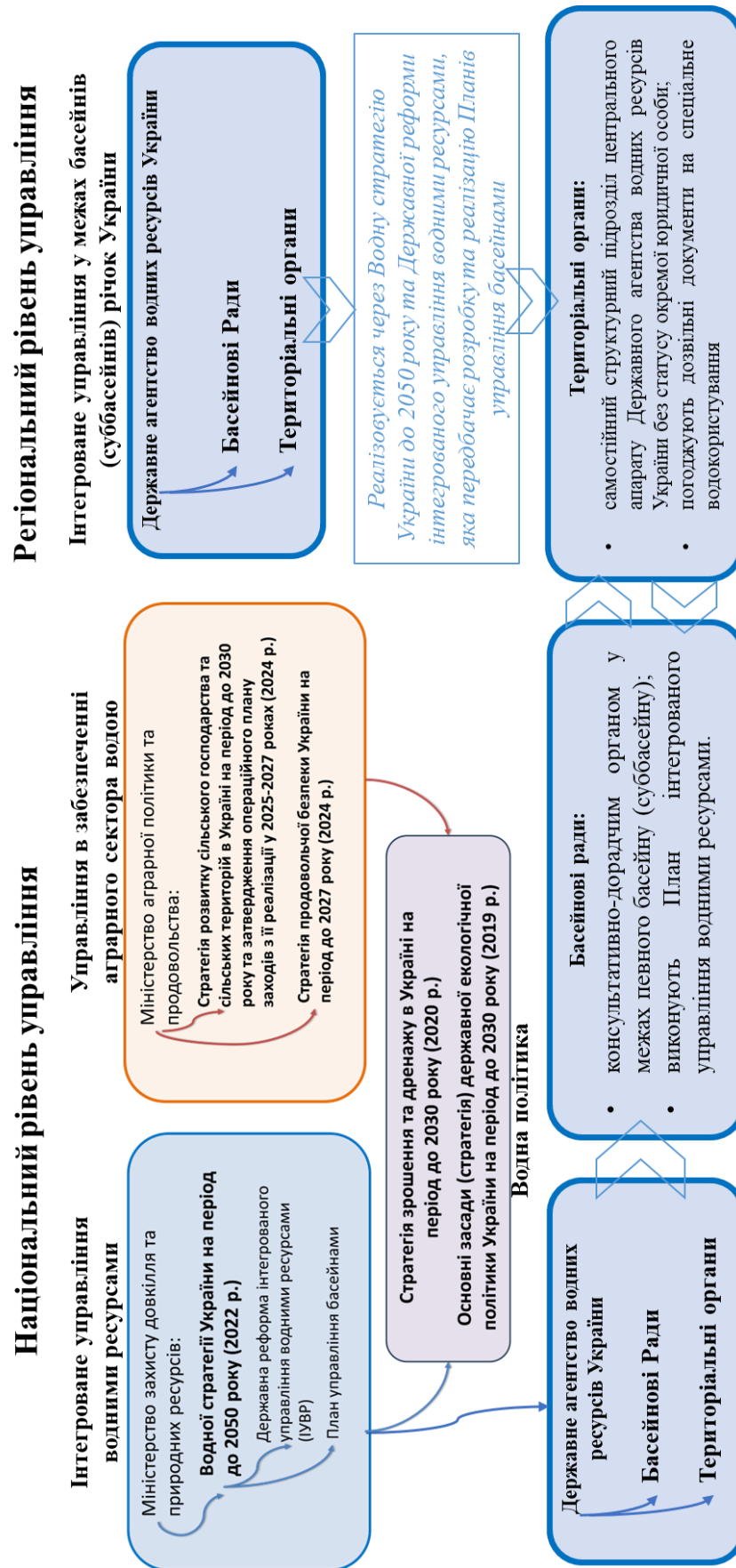


Рис. 1.7 Структурно-логічна управління водними ресурсами (власна розробка)

1.3. Точкові джерела забруднення річок

1.3.1. Вплив тваринницьких комплексів

Тваринництво є ключовою галуззю у структурі сільськогосподарського виробництва та важливою складовою національної економіки, оскільки вона забезпечує населення продуктами харчування. Зі зростанням чисельності населення Землі підвищується попит на продовольство, що призводить до збільшення обсягів виробництва і, як наслідок, посилює антропогенний вплив на навколишнє середовище. Якщо раніше основними джерелами забруднення вважалися промисловість, транспорт і виробництво електроенергії, то сьогодні до них додалося й сільське господарство, зокрема тваринництво.

Функціонування великих промислових господарств та активний розвиток тваринницького сектору супроводжується споживанням значних обсягів природних ресурсів, одночасно породжуючи низку екологічних проблем, серед яких: викиди забруднюючих речовин і кліматичні зміни, забруднення поверхневих і підземних вод (евтрофікація водойм), деградація ґрунтів, накопичення великої кількості побічних відходів тваринництва (гній, послід, туші загинблих тварин тощо) та втрата біорізноманіття [116].

Великі ферми та комплекси є прикладом локального порушення обміну органічних речовин та елементів живлення (табл. 1.1). Це згодом впливає на загальний біогеохімічний цикл. У таких зонах часто спостерігається дисбаланс між територіями [115, 126]:

- Вирощування кормів для худоби: землі цих територій втрачають мінеральні речовини через вилучення поживних елементів.
- Території поблизу ферм: ґрунти в цих районах перенасичуються органічними речовинами та поживними елементами, що створює надмірне екологічне навантаження [113].
- Водойми: органічні речовини та поживні елементи змиваються у водні об'єкти через стічні та поверхневі води, погіршуючи їх стан.

Негативний вплив гною та рідкі органічні відходи є основними забруднювачами довкілля у зонах тваринницьких комплексів [113].

При зберіганні великих обсягів побічних продуктів тваринного походження в лагунах існує ризик забруднення довкілля через їхню можливу розгерметизацію, змив або перевищення допустимих лімітів їхнього заповнення. Це зможе призвести до забруднення поверхневих та підземних вод азотом, фосфором та іншими шкідливими речовинами. Додатково гній або послід можуть вноситись у ґрунт у надмірних кількостях або без витримувannya належного терміну зберігання (компостування), необхідного для їхнього перетворення в органічне добриво.

Забруднення води на тваринницьких фермах: причини та наслідки

Понаднормативне внесення гною та посліду у ґрунт без дотримання встановлених норм і вимог призводить до забруднення підземних і поверхневих вод. Додатково неефективна система очищення стічних вод на фермах стає джерелом забруднення водних ресурсів [115].

Тваринницькі ферми генерують значні обсяги гноївки та концентрованих стічних вод, що становить серйозну загрозу для навколишнього середовища. Якщо такі скиди недостатньо очищені і потрапляють у джерела питної води, це може призвести до зміни її кольоровості, появи неприємного запаху, смаку, і навіть спричинити спалахи інфекційних захворювань серед населення.

На промислових тваринницьких комплексах стічні води утворюються в різних зонах: у побутових приміщеннях для працівників, під час миття обладнання та приміщень для утримання тварин, у місцях зберігання або виготовлення кормів, а також через стоки із дворів і ділянок відкритого утримування, забруднених гноєм. Залежно від походження, стічні води класифікуються на господарсько-побутові, виробничі та рідкий гній [113, 116].

До їх складу входять залишки гною та сечі, підстилки, кормові відходи, а також залишки мийних та дезінфікуючих засобів. У технічній воді, що

використовується для миття тварин, можуть бути залишки жиру та вовни. Такі стічні води відзначаються надзвичайно неприємним запахом [116].

Вплив гною та посліду на водні ресурси та населення

Гній та послід містять високі концентрації азоту, фосфору та інших поживних речовин, які у разі значного потрапляння у водойми роблять їх непридатними для питного водопостачання та завдають шкоди водно-болотним угіддям та водним екосистемам. Надмірний уміст цих речовин у воді спричиняє евтрофікацію – процес стрімкого розмноження синьо-зелених водоростей при потраплянні до водойми значних кількостей організмів, перш за все органічного вуглецю, азоту та фосфору. Це явище відоме як «цвітіння води». Швидкий розвиток водоростей призводить до падіння вмісту розчиненого кисню у воді, що спричиняє масовий замор риби та інших водних організмів [2, 113, 116].

Окрім цього, забруднення підземних вод нітратами із гною становить серйозну загрозу для здоров'я людей. Високий вміст нітратів у колодязній воді, особливо біля тваринницьких ферм, може призвести до негативних наслідків, зокрема збільшення ризику викиднів у вагітних жінок. У тяжких випадках таке забруднення здатне призвести до розвитку метгемоглобінемії, відомої як синдром «синьої дитини», коли здатність еритроцитів переносити кисень значно знижується. Це може спричинити синюшність шкіри у дітей, а в критичних ситуаціях навіть призвести до летальних наслідків.

Також гній може бути джерелом патогенних мікроорганізмів, небезпечних для людини. Наприклад, гній із промислових тваринницьких комплексів часто містить кишкову паличку – бактерію, що трапляється у фекаліях тварин. У 2001 році в штаті Мічиган (США) зразки води, взяті нижче за течією від великої ферми великої рогатої худоби, показали перевищення допустимого рівня кишкової палички в поверхневих водах у 1900 разів [116].

Відходи на промислових тваринницьких фермах можуть містити широкий спектр фармацевтичних речовин, включно з антибіотиками та

гормонами. До 75 % цих препаратів можуть виводитися з організму сільськогосподарських тварин із калом і сечею в незмінному вигляді, що призводить до забруднення ґрунтів та підземних вод. Гормони, що використовуються для стимуляції росту тварин, потрапляють у навколишнє середовище через відходи, а їхні залишки можуть бути виявлені в продуктах тваринного походження – яйцях, м'ясі та молоці.

За даними публікації громадської організації «Екологія – Право – Людина» (ЕПЛ) [116] було описано, що деякі з цих гормонів мають властивість руйнувати ендокринну систему та негативно впливати на репродуктивне здоров'я як тварин, так і людей.

Для зниження негативного впливу сільськогосподарської діяльності на довкілля, зокрема від тваринницьких комплексів, у Європейському Союзі запроваджено Нітратну директиву (Директива 91/676/ЄС від 21 грудня 1991 року) [63]. Її метою є зменшення забруднення води, спричиненого нітратами та іншими поживними речовинами із сільськогосподарських джерел, а також запобігання такому забрудненню в майбутньому.

Директива передбачає кілька ключових документів, включно з методикою визначення зон, вразливих до нітратного забруднення, та кодекс найкращих сільськогосподарських практик. Це дає можливість досягти балансу між господарськими потребами та збереженням доброго стану водних ресурсів та екосистем. Основний принцип нітратної директиви полягає у зменшенні шкоди шляхом запобігання забруднення.

Рамкова водна директива 2000/60/ЄС [53] встановлює обмеження щодо забруднення вод нітратами, визнаючи захист водних ресурсів одним із пріоритетних напрямів екологічної політики Європейського союзу. Охорона вод є ключовою складовою діяльності Європейської комісії, оскільки громадяни держав-членів ЄС вважають забруднення води однією із найнебезпечніших екологічних загроз. Директива є одним із перших законодавчих актів ЄС, спрямованих на поліпшення якості води та боротьбу з її забрудненням.

Оцінити вплив агроіндустрії та якість води складно через характер забруднення. На відміну від точкових джерел (наприклад, викиди через труби заводів або каналізацій), аграрне забруднення належить до дифузних (неточкових) джерел, розосереджених у просторі, які охоплюють значні території, як от поля або тваринницькі комплекси. Поллютанти з таких джерел можуть проникати у глибокі водоносні горизонти та забруднювати їх [116].

Отже, можна виокремити ключові чинники впливу тваринницьких комплексів на екологічний стан водойм та річок (табл. 1.1), зокрема це посилення процесів евтрофікації, забруднення ґрунтів та відповідно підземних вод, небезпека від утворення органічних відходів.

Таблиця 1.1.

Вплив діяльності тваринницьких комплексів на навколишнє середовище: основні чинники та наслідки [113, 115, 126]

Вплив	Опис	Наслідки від впливу для водних об'єктів
Евтрофікація водойм	Змив поживних речовин - азот, фосфор з гноєм і стоками у водойми.	Зниження рівня кисню, загибель риб, цвітіння води, розмноження патогенних бактерій.
Контамінація ґрунтів	Накопичення надлишкових органічних речовин і елементів у ґрунті поблизу ферм.	Погіршення властивостей ґрунту, патогенне розмноження та дисбаланс поживних речовин. Потрапляння патогенних організмів до річок в результаті ерозійних процесів.
Забруднення підземних вод	Проникнення рідких відходів і патогенів через ґрунт у підземні води.	Ризик поширення інфекцій серед населення, ускладнення очищення питної води. Поява бактеріологічного забруднення річок та водойм.
Медикаментозне забруднення	Потрапляння залишків антибіотиків та хімікатів у водойми зі стоками.	Порушення хімічного балансу соди, вплив на водну флору та фауну, розвиток резистентних бактерій.
Обсяги відходів	Виробництво твердих і рідких відходів – гній, кал, залишки корму, пір'я.	Надмірне навантаження на водні екосистеми, необхідність складних систем переробки.

1.3.2. Вплив стічних вод

Вплив стічних вод від різних галузей народного господарства на річкову систему визначається наявністю високих концентрацій таких індикаторних показників у природних водах, як вміст біогенних речовин (сполук азоту та фосфору), показників токсичності (вмісту кадмію, свинцю, міді, ртуті, заліза тощо) та сапробністю водойм (високі концентрації БСК₅, низький рівень вмісту розчиненого кисню у воді тощо) та інші групи показників. Вищезазначені речовини потрапляють до водойми через скиди від різних категорій підприємств неочищених або недостатньо очищених стічних вод, а також через поверхневі стоки з урбанізованих територій.

Варто зазначити, що стічні води відрізняються за своїм складом, залежно від виду їхнього утворення. На рисунку 1.8 наведена класифікація стічних вод, скид яких у недостатньо очищеному або неочищеному вигляді суттєво впливає на стан водойми річок. Вченими [11] зазначається, що побутові стічні води, які утворюються в результаті різної діяльності в приватних умовах називають «сірою водою» або «graywater», а стічні води, що утворилися в результаті діяльності різних видів господарств, тваринницьких комплексів та підприємств називають «чорна вода» або «blackwater».

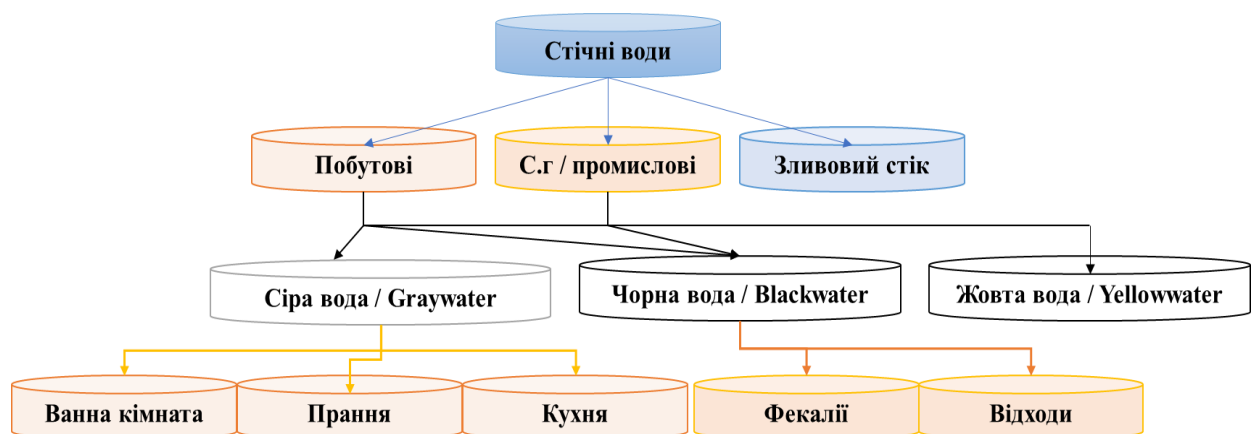


Рис. 1.8 Види стічних вод, які спричинюють погіршення якості води в річкових екосистемах (розроблено на основі літературних джерел [2, 4, 11, 21, 46])

Стічні води зливових стоків – це сильні дощові, зливові або паводкові води, які не вбираються в землю і стікають вулицями або відкритими поверхнями. Це одне з головних джерел забруднення води, оскільки містять багато токсичних забруднювачів, таких як: пластик, пестициди, гербіциди, масла, хімікати, важкі метали та навіть різноманітні патогени, які несуться зливовими стоками з вулиць, промислових підприємств, паркувальних майданчиків, територій будівництва тощо. Дощові стоки зазвичай течуть або безпосередньо, або через дренажні канали, які зрештою скидаються в найближчі природні водні шляхи, такі як ставки, річки, струмки та озера без будь-якої обробки [2]. Варто зазначити, що зливові стоки можуть належати як до точкових джерел, так і до дифузних джерел забруднення природних вод. Це зумовлено наявністю пунктів збору (дренажних або каналізаційних систем збору із подальшою їхньою очисткою), що свідчитиме про точковий тип. Якщо ж стоки рухаються до водозбірних каналів самодовільно, розповсюджуючись по території, у подальшому надходять до природних вод без будь-яких можливих систем очистки – це тип дифузного забруднення природних вод.

Побутові стічні води утворюються в домашніх умовах і, як правило, складаються з двох основних потоків відходів: туалетних відходів, тобто рідини, що виділяється із санітарних/пралень/ванних приміщень, і стічних вод, які утворюються внаслідок іншої домашньої діяльності, наприклад, приготування їжі тощо. Залежно від джерела, побутові стічні води поділяються на три різні підтипи [2, 4, 11, 21, 46, 51]:

1. «Чорні» стічні води – найбільш забруднена форма побутових стічних вод зі скиданням із туалетів, кухонних посудомийних машин і раковин. Забруднювачі, присутні в чорній воді, це сеча, фекалії, туалетний папір, мило, викинуті шматки їжі, різні хімічні речовини та багато побутових хімікатів. Це надзвичайно забруднена стічна вода з високим ризиком спричинення захворювань.

2. «Сірі» стічні води – менш забруднена форма побутових стічних вод, що скидаються з ванн, пральних машин і раковин у ванних кімнатах. Для

спрощення, «сіра» вода або настій – це фактично чорна вода без фекалій, сечі та шматочків харчових відходів, тобто це побутові стічні води без контакту з туалетною водою. Хоча його не вважають патогенно небезпечним, оскільки він містить миючі засоби, мила, рештки побутових хімікатів (рідин для миття посуду, жироснижувачів, кондиціонерів), його слід глибоко очищати, перш ніж розглядати його для рециркуляції або скиду в природню водойму.

3. «Жовті» стічні води – це саме сеча без будь-яких інших забруднень «чорної» та «сірої» води. «Жовта» вода не містить фекалій, туалетного паперу, хімічних речовин або частинок їжі і є чистою сечевою водою. Така категоризація побутових стічних вод спрощує планування та виконання очищення, оскільки до кожного типу води можна застосовувати спеціалізовану обробку на основі її характеристик.

Сільськогосподарські стоки вважаються основним джерелом забруднення води в багатьох вододілах. Сільськогосподарські стічні води іноді також називають іригаційними стічними водами, коли надлишок води стікає з полів під час поверхневого зрошення [23]. Надлишок води, що протікає через поля, стає основною причиною стоку опадів і поживних речовин до найближчих джерел води. Крім того, забруднювачами сільськогосподарських стічних вод є агрохімікати, такі як добрива, пестициди, гербіциди, рослинні залишки, відходи тваринництва, стоки свиней, птахівництва та ферм з риборозведення, а також відходи молочарства [12, 42]. Багато методів управління фермами використовуються для очищення сільськогосподарських стічних вод, щоб значною мірою запобігти поверхневому стоку [2].

Промислові стічні води – це вода з розчиненими та зваженими речовинами, що скидаються з різних промислових процесів, таких як вода, що виділяється під час виробництва, очищення та іншої комерційної діяльності [20]. Різними забруднювачами, які зазвичай трапляються у виходах промислових вод, є хімічні речовини, важкі метали, олії, пестициди, мул, фармацевтичні препарати та інші промислові побічні продукти [2]. Загалом промислові стічні води важко очищати, оскільки на галузевому рівні потрібна

індивідуальна перевірка установок та спеціальних очисних споруд. Стічні води з різних промислових секторів містять широкий асортимент забруднюючих речовин, які є токсичними та мають небезпечний вплив на водне середовище. До таких забруднювачів належать важкі метали, такі як хром (Cr), цинк (Zn), свинець (Pb), мідь (Cu), залізо (Fe), кадмій (Cd), нікель (Ni), миш'як (As) та ртуть (Hg) [43].

Деякі основні галузі промисловості та забруднювачі води, які вони викидають, зазначено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Промислові галузі та їхні основні забруднювачі води [2]

Галузь промисловості	Забруднювачі води	Література
Виробництво барвників	Мідь, колір, сіль, сульфід, формальдегіди	18-44
Виробництво фарб	Хром, цинк, свинець, леткі органічні сполуки (ЛОС)	18, 6
Текстильна галузь	Залізо, хром, хлоровані сполуки, сечовина, солі, перекис водню, високий рН NaOH, поверхнево-активні речовини	44
Фармацевтична галузь	Кадмій, нікель, фенольні сполуки	18
Нафтохімічна галузь	Нафтові вуглеводні, фенольні сполуки, нітробензол, алкани, хлоралкани, високосолі тощо	25
Виробництво паперу та целюлози	Органічні та хлорофенольні сполуки, зважені тверді речовини, алое вера, лігнін, таніни, стероли, барвники, біоциди тощо	17
Виробництво пластику	Перфтороктанова кислота (PFOA), свинець, ртуть, кадмій, діетилгексилфталат	32

Прямий скид промислових стічних вод завдає непоправної шкоди річковій екосистемі, оскільки вони можуть переносити різні поживні речовини в річку, що так само призводить до змін у мікробному співтоваристві в річці, зменшує біорізноманітність, спричиняє погіршення якості води як для функціонування самої водної екосистеми, так і для різних галузей, зокрема рибальства, рекреації, занять водними видами спорту.

Науковці в роботі [46] стверджують, що скидання стічних вод без належного очищення суттєво змінює концентрацію різних органічних та

неорганічних забруднювачів у водоймах, особливо це стосується сполук амонію (NH_4^+), нітратів (NO_3^-), загального фосфору ($\text{P}_{\text{заг}}$) та хімічного споживання кисню (ХСК). Показано, що це призвело до розвитку водних організмів, що спровокували евтрофікацію водойми.

У дослідженні [21] представлено новий підхід до оцінювання впливу стічних вод на якісний стан річкової екосистеми. Зокрема, вченими використане співвідношення розчиненого Rb/Sr. Автори зазначають, що рубідій присутній у більшій кількості, аніж стронцій у стічних водах, що містять фекалії та сечу. Саме тому співвідношення цих двох елементів є ефективним індикатором прояву забруднення річки стічними водами.

Вченими встановлений ефект впливу стічних вод на прісноводну екосистему через такі шляхи:

1. Зміна температурного режиму річки [4]:

– Фізичні зміни в річках – зміна температури води серйозно впливає на водну флору й фауну, наприклад, видовий склад мікробіоти, водоростей, риб. Температура також впливає на розчинність і доступність кисню у воді. Підвищення температури призводить до зменшення вмісту розчиненого кисню у воді, а, отже, потреба в кисні, необхідна бактеріям для розкладання відходів, також збільшується.

– Хімічні зміни в річках – дія певних токсичних речовин, таких як мідь, яка збільшує потребу в метаболіті, або цинк, який блокує поглинання кисню на рівні зябер рибою, посилюється під час підвищення температури. Висока температура води впливає на токсичність деяких хімічних речовин у воді, а також на чутливість живих організмів до токсичних речовин.

– Біологічні зміни в річках – причиною термічної смерті є збій процесів осморегуляції, зміни клітинних ферментів і мембранних ліпідів, а також денатурація білка. Крім того, температура контролює швидкість росту фітопланктону, мікрофітів, епіфітів, що робить прісноводні екосистеми чутливими до підвищення температури. Оскільки більшість річкових

організмів є екотермами, зміни температури мають глибокий вплив на їхній ріст, фенологію, виживання, розмноження та поширення.

2. *Зміна вмісту розчиненого кисню у водойми річки [5]:* розчинений кисень є одним із найважливіших чинників для водних тварин, особливо для тих, хто одержує розчинений кисень із води, зокрема рівень його у воді вказує на якість води, водночас коливання рівнів його у воді впливає на фізіологію риби. Низький рівень його призводить до ускладнення дихання риби (гіпоксія). У гіпоксичному середовищі види, що спеціалізуються на повітряному та поверхневому диханні, можуть домінувати. Інші види в гіпоксичному середовищі розвивають специфічні для гіпоксії поведінкові та морфологічні адаптації.

3. *Надходження фармацевтичних речовин, поживних речовин, важких металів у водойми річки:*

– *Фармацевтичні препарати* є одними з нових забруднювачів водних відходів і є однією з найбільш актуальних груп речовин, які впливають на водні екосистеми завдяки своїм хімічним і фізичним властивостям. Фармацевтичні препарати разом зі своїми метаболітами легко виводяться із сечею та калом і через каналізаційні системи надходять до річок. Вони можуть мати специфічний несприятливий вплив на водні екосистеми та завдавати шкоди ресурсам прісної води, а також можуть спричиняти токсичний вплив на водні організми. Поглинання фармацевтичних препаратів рибою може відбуватися як через шкіру, так і через поверхню зябер для фармацевтичних препаратів, що передаються водою / осадами, перорально через їжу або материнським шляхом через передачу забруднюючих речовин через ліпідний запас яєць [4].

– Підвищені *концентрації сполук азоту (N_x)* у поверхневих водах і прибережних/морських водах сприяють явищу евтрофікації з відповідним впливом на фітопланктон і бентосні водорості, зоопланктон, угруповання водних рослин (макрофіти) і риби [7]. Деякі водорозчинні форми неорганічного азоту, такі як іонізований амоній, аміак, нітрит, нітрат, присутні в потоках

відходів, що може спричиняти потребу в кисні в поверхневих водних ресурсах. Молекулярний аміак або його гідратована форма NH_4OH вважається найбільш токсичною формою аміаку, тоді як дисоційований іон амонію (NH_4^+) є відносно нетоксичним. Скидання аміаку відбувається здебільшого зі стоками промисловості, сільського господарства та побутовими стічними водами. Аміак має токсичну дію на водні організми і його високі концентрації можуть завдати шкоди водним спільнотам. Аміак і нітрат є основними формами азоту. В присутності кисню аміак мікробіологічно та хімічно окиснюється до нітрату, причому це реакція супроводжується зниженням вмісту розчиненого кисню в поверхневих водах. Надлишок аміачного азоту завдає шкоди водній флорі та фауні через його здатність порушувати реакцію гідролізу водних ферментів, пошкодження певних тканин й органів організмів, аж до гіпоксії та коми [4].

– Поверхневі води містять як неорганічний, так й органічний *фосфор* [13]. Забруднення фосфором є одним з основних чинників, що спричиняють евтрофікацію води. Високий рівень фосфатів може стимулювати розмноження водоростей у воді, порушуючи баланс екосистеми [22].

– *Важкі метали*, присутні у стічних водах, мають низку негативних наслідків для екологічного балансу водного середовища, включно з водними організмами. Водна біота здатна накопичувати значну кількість важких металів у тканинах свого тіла. Присутність важких металів може пригнічувати ріст риби, а також її личинок, зменшувати розмір популяцій риб і загрожувати всій популяції риб, якщо вони присутні у високій концентрації [22, 113].

Варто зазначити, що вплив військової діяльності на водні ресурси України є значним і зумовлений надходженням до природних вод важких металів, радіонуклідів, залишків покришок, пластику та різного токсичного сміття. Ця діяльність призвела до посилення процесів евтрофікації в природних водах, погіршила якість води, особливо в басейнах Дніпра та Дону, а також суттєвого впливу зазнали водна флора та фауна [108].

Проблема забруднення природних вод є досить актуальною не лише в регіональних масштабах, але й на глобальному рівні.

У всьому світі від 50 % до 80 % побутових і промислових стічних вод скидається без попереднього очищення [14, 95]. Оцінка даних зі 129 країн показала, що досягнення безпечного управління ресурсами стічних вод до 2030 року потребує розробки рішень щодо алгоритму очищення стічних вод [36].

Комунально-промислові стічні води містять подібні забруднювачі, як і сільськогосподарські стоки, але мають більш високий рівень вмісту патогенів, окрім важких, часто токсичних металів, таких як миш'як, свинець або ртуть. Забруднення від промисловості та сільського господарства також є одним із найважливіших деградаторів екосистеми, через що страждає економіка. Наприклад, в 2017 році це призвело до економічних збитків у Китаї на суму понад 579 млн доларів США внаслідок пошкодження морських екосистем [28].

1.4. Дифузні джерела забруднення річок

Основним дифузним джерелом забруднення поверхневих вод є сільськогосподарська діяльність, зокрема, ведення рослинництва із застосуванням мінеральних та органічних добрив, агрохімікатів та засобів захисту рослин. Якщо прибережні зони поверхневих вод є розореними, тоді сільськогосподарська діяльність має найбільший вплив на якісний стан водойми, зумовлюючи потрапляння до неї біогенних та різних хімічних речовин, які можуть спричинити зміни гідрохімічного складу води, зменшити природне біорізноманіття та послабити процеси саморегуляції [113].

Ведення науково-необґрунтованої із високою інтенсифікацією сільськогосподарської діяльності (рис. 1.9) на значних площах сприяє прогнозованому забрудненню ґрунтів, ґрунтових і поверхневих вод залишками мінеральних добрив та засобів захисту рослин (ЗЗР), відходами

тваринницьких ферм, а також виснаженню, заболоченню, ерозії, дегуміфікації, підкисленню або засоленню ґрунтів [130, 135].



Рис. 1.9 Основні джерела забруднення природних вод внаслідок сільськогосподарської діяльності (власна розробка)

Багатьма дослідженнями доведено забруднення дифузним стоком із сільськогосподарських угідь, наприклад як середніх річок (р. Тетерів [118]), так і великих (р. Дніпро [112], р. Дунай). Так, за даними О. О. Ухань та Н. М. Осадчої [119], із дифузних джерел надходження емісії азоту та фосфору в межах басейну р. Тетерів розподіляється в такий спосіб: сільськогосподарські угіддя відповідальні за формування 29 % та 37 % відповідно від загального емісійного потоку. На другому місці потрапляння від сільського та міського населення, що немає підключення до каналізації: 25 % для азоту і 28 % для фосфору.

Вченими В. П. Строкаль та А. В. Ковпак [112, 115] наведено характеристику вмісту біогенних речовин ($N_{\text{заг}}$, $P_{\text{заг}}$) масиву поверхневих вод басейну р. Дніпро. Зокрема, ними представлено співвідношення між точковими та дифузними джерелами впливу в межах суббасейнів р. Дніпро: суббасейн Верхнього Дніпра має 76 % переважаючого дифузного типу забруднення за азотом та 83 % переважаючого точкового типу забруднення за фосфором; суббасейн Середнього Дніпра має 52 % переважаючого точкового типу забруднення за азотом та 80 % переважаючого точкового типу забруднення за фосфором; суббасейн Нижнього Дніпра має 52 %

переважаючого дифузного типу забруднення за азотом та 75 % переважаючого точкового типу забруднення за фосфором.

Дослідження, проведені в басейні р. Дунай, показали, що 60 % загального виносу азоту і 44 % фосфору змивається з поверхні водозбору [112, 115].

З урахуванням викликів сьогодення, проблема екологічнобезпечного використання земель сільськогосподарського призначення набуває особливої актуальності.

Варто зазначити, що основними джерелами забруднення водних ресурсів від сільськогосподарського виробництва є (табл. 1.3):

- Використання добрив, накопичення та обробка гною, посилення ерозійних процесів розораних земель, які так само призводять до забруднення води сполуками фосфору й азоту та відповідно до евтрофікації природних водойм;
- Використання агрохімікатів, що може призвести до забруднення поверхневих і підземних вод та серйозно вплинути на саморегулюючі процеси водних екосистем;
- Використання нафтопродуктів для сільськогосподарських машин призводить до забруднення води продуктами нафтохімії.

Серйозну небезпеку, як наслідок від провадження сільськогосподарської діяльності, становлять процеси евтрофікації природної водойми, яка збагачується біогенними елементами [113]. Унаслідок евтрофікації відбувається інтенсивне зростання водоростей і інших рослин, накопичення у водоймах органічних речовин та інших продуктів відмирання організмів. Результатом цих процесів є знекиснення водного середовища і заміна аеробних процесів на анаеробні та виділення в середовище сірководню, метану та інших отруйних забруднюючих речовин [33].

Слід відмітити, що евтрофікація може бути викликана як природними, так і антропогенними чинниками. Відмінності їхнього виникнення пов'язані не тільки з інтенсивністю, але й з механізмом окремих процесів.

Таблиця 1.3.

Основні чинники впливу від сільськогосподарської діяльності на стан водойми [1, 30, 52, 113]

Фактор впливу	Опис	Наслідки для водойм
Деградація земель	Зменшення родючості ґрунту, втрати гумусу, ерозія, підвищення солоності.	Зрошення поверхневого стоку, зменшення поповнення підземних вод, погіршення якості води.
Хімізація сільськогосподарства	Використання азотних і фосфорних добрив, пестицидів, гербіцидів, фунгіцидів.	Евтрофікація водойм, забруднення біогенними елементами, накопичення токсинів у воді та живих організмах.
Вимивання добрив	Змивання азотних і фосфорних добрив у водойми під час опадів або зрошення.	Збільшення концентрації біогенних елементів, неконтрольований ріст водоростей, дефіцит кисню.
Засолення ґрунтів	Випаровування води з поверхні деградованих земель, накопичення солей.	Підвищення мінералізації води, зменшення придатності води, зменшення придатності для прісноводних видів.
Ерозія ґрунтів	Змивання ґрунту дощами, осадження дрібнодисперсних частинок на дні водойм.	Замулення водойм, зменшення глибини, зміна течій, зниження біорізноманіття.
Використання пестицидів та хімікатів	Накопичення пестицидів у водних організмах, біоаккумуляція токсичних речовин.	Токсичність води, скорочення популяції риб, птахів, мутації та загибель організмів.
Евтрофікація водойм	Збільшення концентрації азоту і фосфору, надмірне цвітіння води.	Анаеробні процеси, утворення токсичних речовин, загибель водної флори.
Забруднення стійкими органічними речовинами	Потрапляння гербіцидів і фунгіцидів у водойми.	Накопичення токсичних речовин у рибах і птахів, ризики для здоров'я людини під час споживання води або їжі.

Варто зазначити, що саме процеси антропогенної евтрофікації є найбільш просто постерігати візуально, тому їх можна досить легко дослідити та встановити чинники впливу на якість води. Однак дослідження процесів природної евтрофікації є тривалим процесом [107]. Це пояснюється тим, що в природній евтрофікації внаслідок неповної мінералізації водних рослин

спостерігається поступове накопичення органічних речовин і збільшення концентрації біогенних елементів [81, 107, 111].

В евтрофікованих водах створюються сприятливі умови для поглинання рослинами біогенних елементів безпосередньо з води. Це сприяє інтенсивному накопиченню фітопланктону у верхніх шарах води й загибелі донних рослин через нестачу кисню. Отже, у процесі евтрофікації змінюється не тільки хімічний склад води, а й видовий склад організмів. За цим слідує збіднення глибинних шарів води киснем, зміна аеробних процесів анаеробними, забруднення води отруйними речовинами. Для евтрофних водойм є характерна різноманітна літоральна та субліторальна рослинність, велика кількість планктону.

Варто зазначити, що до основних біогенних речовин, які посилюють процеси евтрофікації у водоймі відносять азот, фосфор та кремній у різних їхніх сполуках. Найбільше значення мають сполуки фосфору та азоту. Результати досліджень вчених засвідчують, що на концентрацію у воді вищезазначених речовин також впливають біологічні та біохімічні процеси у воді. Вважається, що надмірна евтрофікація водойм починається за вмісту у воді азоту в концентрації 0,2-0,3 мг/дм³, фосфору – 0,01-0,02 мг/дм³ [89].

1.5. Кліматичні зміни та коливання кількості опадів

Нині проблема зміни клімату набуває дедалі більшої актуальності. Клімат нашої планети змінюється швидкими темпами і поряд із природними коливаннями спостерігається потепління, спричинене діяльністю людини [41].

Кліматичні умови є ключовим чинником, що впливає на стан гідросфери [104] та функціонування екосистем. Наслідки кліматичних змін уже помітні: частішають небезпечні погодні явища, поширюються інфекційні захворювання, зростають економічні збитки, а також виникають загрози для стабільності екосистем та здоров'я людей.

Наукові дослідження [15] свідчать, що за відсутності належних заходів поточні кліматичні зміни можуть призвести до ще більш серйозних наслідків у майбутньому.

У цьому контексті аналіз сучасного розподілу температур повітря та кількості опадів має важливе значення.

Проблематика, пов'язана з метеорологічними показниками на території України, широко висвітлена в наукових роботах таких дослідників, як С. Г. Бойченко, М. В. Волощук та І. А. Дорошенко. Зокрема, питання регіональних аспектів зміни клімату ґрунтовно вивчено у статті В. Єремєєва та В. Єфімова, опублікованій у Науковому віснику НАН України. Однак природні та антропогенні зміни клімату на території України продовжуються зі зростаючою інтенсивністю, тому це є актуальною темою для подальшого вивчення [119].

Кліматичні умови в Україні відзначаються значною регіональною варіативністю. На рівнинних територіях країни кількість опадів змінюється із заходу на схід: від 700 мм у Західних регіонах Полісся та Лісостепу до 300-350 мм у південних областях. У гірських районах ситуація відрізняється: на Карпатських хребтах річна кількість опадів може перевищувати 1500 мм, а в Кримських горах – понад 1000 мм.

Розподіл опадів упродовж року також нерівномірний. У теплий період їх випадає в 2-3 рази більше ніж у холодний. Винятком становить південний берег Криму, де більшість опадів припадає на холодний сезон, що пов'язано з впливом повітряних мас високого тиску та низхідними потоками повітря влітку [48].

Максимальна кількість опадів на більшій частині території України спостерігається в червні та липні, коли частішають грози та зливи. У цей період на рівнинних територіях випадає до 200 мм опадів, а в Карпатах – до 300 мм.

Середня кількість днів з опадами також варіюється залежно від регіону. На півдні Причорноморської низовини вона становить 5-9 днів на місяць, тоді

як на півночі та заході країни – 10-16 днів. Найбільша кількість днів з опадами припадає на зимовий період, а найменша – на серпень та вересень [48-50].

Сніговий покрив утворюється на півночі наприкінці листопада і зберігається до початку квітня, тоді як на півдні перший сніг випадає в грудні й тоне вже на початку березня. Стійкий сніговий покрив упродовж усієї зими є рідкістю, особливо в південних регіонах, де він часто переривається. На Поліссі висота снігу коливається від 30 до 20 см, а на Причорномор'ї – до 10 см.

Ретроспективний аналіз змін температурного режиму протягом 1970-2023 років (рис. 1.10), зафіксованих на метеорологічних станціях як Київ, Біла Церква, Фастів, Бориспіль, показав, що температура повітря зросла на $+1,8^{\circ}\text{C}$ (рис.1.10). У 1970 році річна середня температура повітря становила $+7,4^{\circ}\text{C}$, проте у 2022 році – вже $+9,2^{\circ}\text{C}$. Це свідчить про те, що збільшилася кількість посушливих днів, відповідно відбулися зміни у водному режимі річок, особливо малих, які є досить чутливими до температурного режиму.

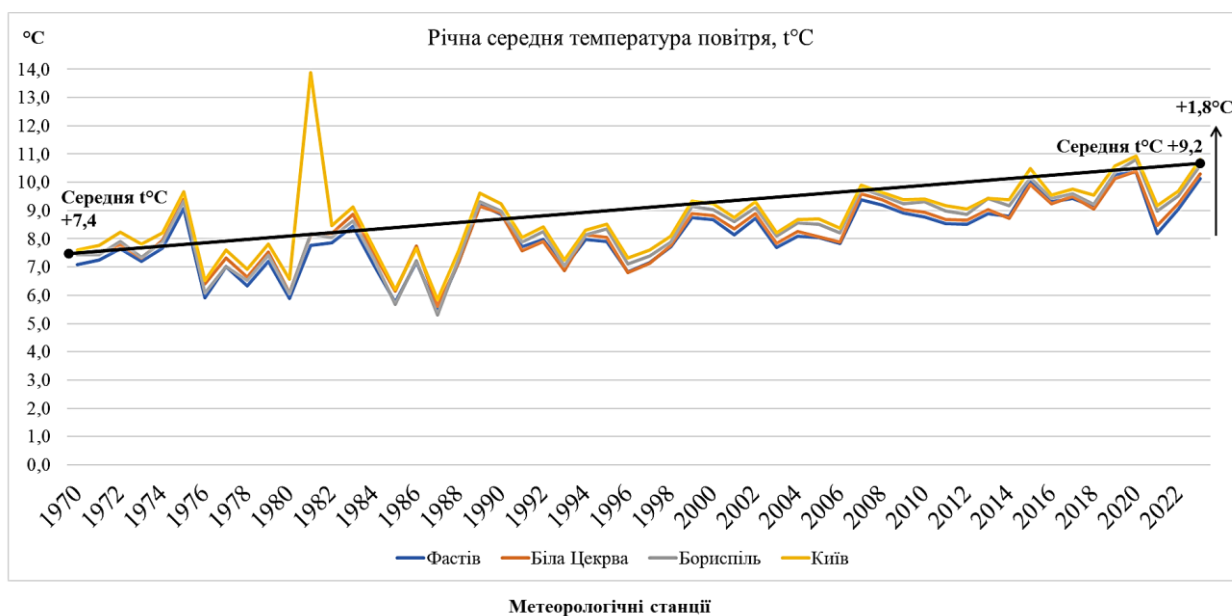


Рис. 1.10 Річна середня температура повітря за 1970-2023 роки в метеорологічних станціях Фасті, Біла Церква, Бориспіль, Київ (розроблено на основі статистичних матеріалів Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України)

Нами були обрані ці чотири метеорологічних станції, оскільки вони розташовані найближче до території проведення дослідження малої річки Унава. Ретроспективний аналіз річної середньої температури повітря дозволив оцінити вплив абіотичних факторів на гідрологічний режим річки Унава.

Метеорологічна станція «Фастів» знаходиться в м. Фастів, неподалік від водосховища р. Унава. Метеорологічні дані з цієї метеорологічної станції отримано завдяки укладеному договору між Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського ДСНС України та Національним університетом біоресурсів і природокористування України.

Кількість опадів в період від 1970 до 2023 року зменшилася до 280 мм (рис.1.11). Отже, спостерігається пряма кореляція між підвищенням рівня температури повітря та зменшенням кількості опадів протягом вказаного періоду. Найбільш різке зменшення кількості опадів спостерігалось, починаючи з 2014 року.

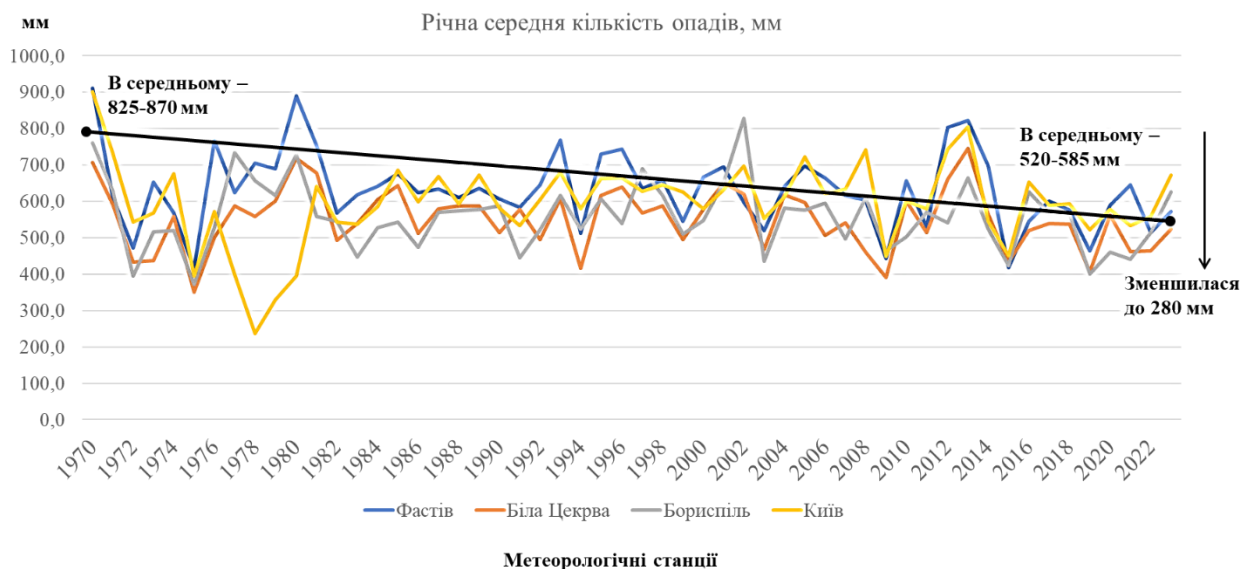


Рис. 1.11 Річна середня кількість опадів період 1970-2023 років в метеорологічних станціях Фасті, Біла Церква, Бориспіль, Київ (розроблено на основі статистичних матеріалів Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України)

Загалом в Україні протягом ,як мінімум, 10 років фіксується гідрологічна посуха через відсутність весняного водопілля та збільшення випаровування. Внаслідок цього знижується рівень води у річках, особливо малих, та спостерігається загальне погіршення стану водних ресурсів. Це, у свою чергу, загрожує врожаю та може мати негативні наслідки для екосистем.

Кліматичне моделювання є ключовим інструментом для прогнозування змін клімату та розробки стратегій адаптації. Воно дає можливість оцінити масштаби, швидкість і наслідки кліматичних змін за різних сценаріїв концентрації парникових газів, що є критично важливим для забезпечення доступу до якісної води для різних секторів економіки.

Дослідники активно використовують кліматичні моделі [9], зокрема групи CMIP6 GCM, які вважаються ефективними для регіональних кліматичних прогнозів. На основі шести основних кліматичних моделей (GHMs) були розроблені прогнози [77] змін водних ресурсів України на період 2041 – 2070 рр. за сценаріями RCP2.6 та RCP8.5. Згідно з цими прогнозами, у межах Українських Карпат очікується зменшення річної кількості опадів до 10 % та підвищення середньорічної температури повітря на 2,0-2,5 °C.

Такі прогнози дають змогу передбачити можливі паводки та посухи, які впливатимуть як на якість води через дифузне забруднення, так і на її доступність для різних галузей економіки.

1.6. Малі річки як джерела екосистемних послуг

Малими річками забезпечується в Україні до 20 % усіх потреб народного господарства. Вони складають 99 % річкової мережі басейнів річок України й мають надзвичайно велике екологічне значення у збереженні біорізноманіття в смарагдовій та синій екологічних мережах [54, 113].

Малі річки формують гідрологічну сітку, яка створює природні ландшафти і забезпечує водою середні та великі річки. Важливим аспектом є

вплив стану регіональних ландшафтних комплексів на гідрологічний режим малих річок [84, 99].

Малі річки являють собою один з найважливіших елементів географічного середовища, формуючи ресурси поверхневих вод і водні біоценози. Особливості їх проявляються в наявності запасів води, є біофондом цінних тварин і рослин, колекторами поверхневого стоку [84].

Також малі річки, маючи відповідні запаси води, відіграють важливу роль в економіці держави, забезпечуючи водою населення та різні галузі економіки [121, 122].

В Україні водні джерела використовують в усіх напрямках, зокрема водна артерія для водного транспорту, рибного господарства, побутового та сільськогосподарського водопостачання, гідроенергетики, водної меліорації та рекреації [114].

Проте варто зазначити, що основними споживачами в басейнах малих річок є сільське господарство. На його частку припадає до 70 % використання річкової води. Для комунально-побутових потреб використовується від 10 % до 30 % загального об'єму річкової води, яка в основному йде на потреби санітарії, поливання зелених насаджень, протипожежні заходи [112]. Промислові підприємства, автомобільний та залізничний транспорти використовують не більше 40 % річкової води [68].

Оскільки малі річки мають свої гідроморфологічні характеристики, які значно відрізняються від великих річок, їх слід обов'язково враховувати під час розробки заходів їхнього збереження. До цих особливостей слід віднести [80]:

- Вони мають виражену залежність водності та гідрологічного режиму від стану поверхні водозбору, зниження якого в низці випадків буває вагомим чинником, ніж кліматичні.
- Вони є початковою ланкою річкової мережі, відповідно всі зміни в їхньому режимі будуть позначатися в річкових мережах середніх та великих річок.

- Внаслідок малої величини ці річки дуже чутливі до певних видів господарської діяльності.

Саме тому, в умовах постійного збільшення обсягів використання водних ресурсів за досить обмежених їхніх запасів і нерівномірного розподілу території, необхідно розробити науково-обґрунтовану систему (або алгоритм) ведення водного господарства, яка б забезпечувала оптимальний розподіл водних ресурсів за природно-географічними зонами, економічними районами, галузями народного господарства, а також відновлення природного русла річки та її охорону.

Вирішальні заходи із відновлення та збереження малих річок включають: розробку заходів боротьби з водною ерозією та замуленням; охорону прируслових джерел та систематичне очищення русел; збереження заплав та болотних масивів у долинах річок; з обох берегів річки від витоків до гирла на території долини слід встановити прибережні захисні зони та водоохоронні зони.

Отже, з огляду на вищезазначені проблеми, до основних загроз майбутнього високоїмовірного зникнення малих річок в Україні можна віднести: зарегульованість, недотримання розмірів природно-захисних смуг, розорювання через людську діяльність. Важливо розуміти, що малі річки є регуляторами водотоку та формують водну мережу.

Річкова система малих річок охоплює русло річки та її заплаву й утворює різноманітну мозаїку середовищ існування. Під час повеней вода та осади транспортуються на заплаву та забезпечують поживні речовини, які роблять річкову систему високопродуктивною. І навпаки, заплави (водно-болотні угіддя) є важливим поглиначами річкових поживних речовин та осаду і, відповідно, суттєво сприяють самоочищенню річки. Заплави, особливо прибережні зони річок, забезпечують русло річки вуглецем (органічною речовиною), який є важливим для підтримки річкової рослинності, тваринного світу та мікроорганізмів.

Річкові системи надають конкретні екосистемні послуги (рис. 1.12), які мають низку переваг як для людини (надаючи екосистемні послуги через забезпечення культурно-рекреаційних цінностей, соціальних та економічних цінностей), так і для природи (збереження флори й фауни, міграційних шляхів, природних ядер екологічної та смарагдової мереж).

До них нами віднесені:

- *Забезпечувальна послуга*: постачання прісної води для різних галузей економіки (наприклад, для питних цілей, сільського господарства – забезпечення систем зрошення якісною водою, риборозведення та ін.);
- *Регуляторна послуга* (наприклад, регулювання води для запобігання повеней та ерозійних процесів, регулювання процесів самоочищення);
- *Культурна послуга* (наприклад, забезпечення культурно-рекреаційних потреб населення, екотуризм – формування культурних цінностей у населення).



Рис. 1.12 Екосистемні послуги, які надають річкові системи (розроблено автором)

Вищеперераховані екосистемні послуги, які надають прісноводні природні водойми, так само мають обернену спрямованість, формуючи послуги, що направлені на *збереження річкової системи* (забезпечує регуляторна послуга), *забезпечення рівня економічного розвитку держави*, сприяючи забезпеченню різних галузей економіки якісною та доступною кількістю води (забезпечує забезпечувальна послуга), *підвищення рівня свідомості та відповідальності* населення шляхом формування в них культурно-рекреаційних цінностей природи (забезпечує культурна потреба).

Висновки до розділу 1

Схарактеризовано основні райони басейнів річок України із зазначенням їхньої екологічної ролі в формуванні гідрологічної мережі України. Обґрунтовано класифікаційні критерії для річкової гідрологічної мережі України, які включають великі, середні та малі річки.

Підкреслено роль великих річок для соціально-економічного розвитку держави, що заключається в забезпеченні соціально-економічного та виробничого сектора водою, захисті й територіальній експансії (річки виконують роль природних коридорів для захисту територій), підтримці сільського господарства в посушливих регіонах для ефективного використання систем зрошення (розвиток землеробства для підвищення врожайності), розвитку торгівлі (експорт річками) та транспорту (водні шляхи).

З'ясовано роль малих річок у формуванні водного балансу та соціально-економічного розвитку держави. Зокрема, зазначено, що малі річки є колекторами поверхневого стоку; головними поверхневими артеріями суходолу, що формують водні ресурси, забезпечуючи гідрологічний водний режим; біофондом цінних рослин та тварин – долини річок є концентраторами ландшафтного різноманіття, важливими шляхами міграції рослин і тварин.

На основі нормативно-правових документів (положень, статутів та офіційних сайтів державних установ) розроблено структурно-логічну схему управління водними ресурсами, яка включає системне поєднання ряду завдань та їхніх рішень між органами державної влади та територіальних громад, які сприятимуть ефективному інтегрованому управлінню водними ресурсами національного та регіонального рівнів.

Виокремлено основні типи точкових та дифузних джерел забруднення річки. До точкових джерел забруднення віднесено тваринницькі комплекси та стічні води побутового, комунального, виробничого походження (в басейні річки займають до 25 %). До дифузних джерел віднесено

сільськогосподарську діяльність, яка є основним чинником біогенного забруднення річки (в басейні річки складає до 75 %).

На основі синтезу (дедукції та індукції) даних наукових джерел літератури, виділено основні екосистемні послуги річкових систем. Зазначено, що річкову систему формують русло та заплава і, відповідно, вони потребують особливої охорони та суттєвого оцінювання. Зазначено, що річкова система надає забезпечувальну, регуляторну та культурну послуги. Забезпечувальна послуга полягає у постачанні високоякісної води в достатній кількості для різних галузей народного господарства, що так само сприяє економічній стабільності держави. Регуляторна послуга полягає в підтриманні рівня води для мінімізації повеней у районах заплав та мінімізації впливу від ерозійних процесів розораних полів на якісний стан водойми, тим самим підтримуючи біорізноманіття в річковій системі та забезпечуючи екологічну стабільність. Культурна послуга передбачає забезпечення культурно-рекреаційних потреб населення, розвиток екологічного туризму, водних видів спорту, формуючи в населення культурні цінності та підвищуючи в них рівень екологічної свідомості та відповідальності.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Відповідно до мети досліджень та поставлених завдань наукове дослідження передбачало (рис. 2.1) пошук літературних джерел стосовно теми дисертаційної роботи (опис місця проведення дослідження, вивчення та аналіз гідрологічних умов р. Унава, обґрунтування екосистемних послуг, які надає річкова система, обґрунтування та вибір методів проведення оцінювання річки). Блок А алгоритму наукової роботи включав аналіз оцінки стану річки за індикаторними групами показників якості води (гідрохімічні, біологічні, індикатори сапробності води та токсичності, індикатори водного дефіциту) та виокремлення екологічних, соціальних та економічних ризиків, які можуть вплинути на якість води в річці та її збереження. На основі Блоку А, нами розроблена програма відновлення р. Унава (Блок Б), яка передбачала розробку схеми впровадження заходів з відновлення річкової системи, а також пропозиції з оцінювання екологічного стану річки на основі індикаторного підходу.

Для виконання оцінки стану р. Унава забори води були здійснені на початок вересня (2022 р.) та на початок листопада (2024 р.). Забір проб води здійснювався відповідно до ДСТУ ISO 5667 «Якість води. Відбирання проб» та Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку перевірки, взяття проб води та проведення їх аналізу».

Забір проб води з р. Унава проводили в 10 пунктах спостереження, кожний із яких включав по три точки забору проб води. Пункти спостереження охоплювали весь басейн р. Унава (рис. 2.2). Фото-фіксація наведена в додатку А.

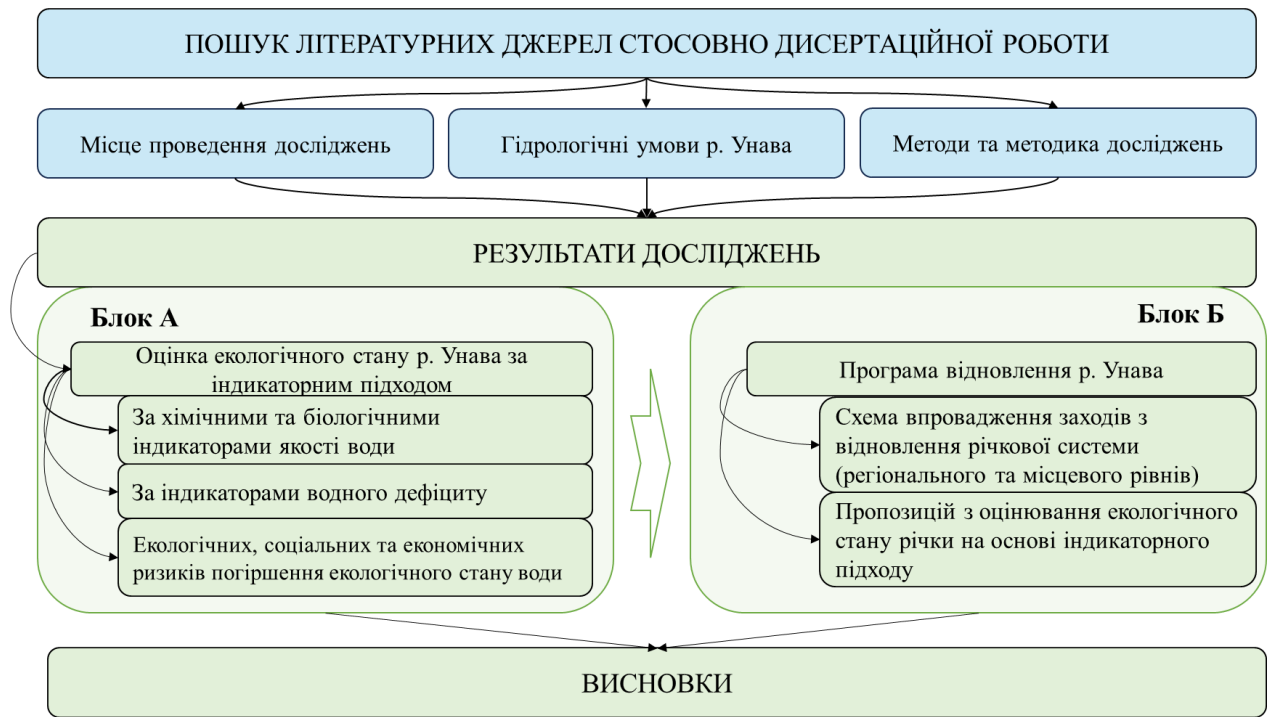


Рис. 2.1 Алгоритм виконання наукового дослідження дисертаційної роботи

Нижче наведено коротку характеристику місць забору проб води, які наведені на рисунку 2.2. Більш розгорнута характеристика місць забору проб води наведена в таблиці 2.1.

Пункт 1 – початок річки (витік): с. Городище, Андрушівський р-н, Житомирської обл. Початок р. Унава. Довжина берегової лінії 120 м, ширина – 25-40 м. Берега вкриті густою рослинністю, очеретом. Глибина до 2 м. Донний ґрунт мулистий, гнилий, присутні гниючі рослинні залишки. Прозорість води за допомогою диска Секкі – 15 см. Запах води з першої точки відбору – прілий, колір – світло-жовтий. Під час забору проб води спостерігали таку ситуацію: наявність розорених сільськогосподарських полів (з одного боку від річки до полів було 20 м, з іншого – 100 м), наявність зрошувального каналу, міська дорога знаходилася на відстані за 300 м від водойми. Місце, де робили забір води був заболоченим та замуленим.

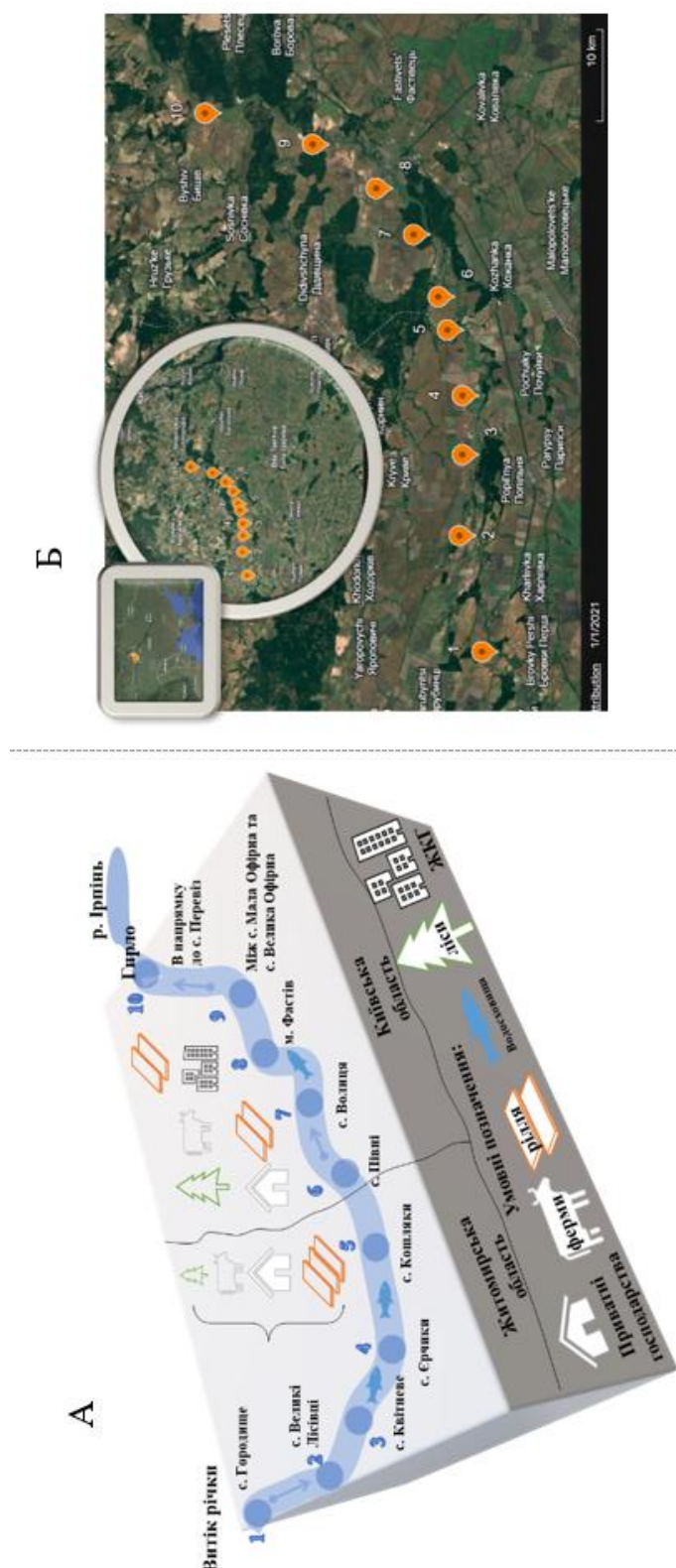


Рис. 2.2 Схема забору проб води (А – Проекція забору проб води з пунктів спостереження із врахуванням ключових прогнозованих антропогенних джерел впливу на водну екосистему р. Унава; Б – зазначені точки забору проб води з координатами, використовуючи програму <https://earth.google>) (розроблено автором)

Пункт 2: с. Великі Лісівці, Попільнянський р-н, Житомирської обл. Річка в цій місцевості була замуленою. Довжина берегової лінії становила близько 100 м, ширина – 50-200 м. Берега вкриті густою рослинністю з наявністю дерев, кущів, чагарників. Донний ґрунт річки мулистий, гнилистий із присутніми гниючими рослинними залишками. Прозорість води на момент забору за допомогою диска Секкі складала 8 см. Запах води із другої точки відбору був схожим на прілий, колір – світло-жовтий. У цій місцевості спостерігали багато приватних будинків (за 405 м від річки), розорані території (з одного боку річки становила приблизно 100 м, а з іншого – 200 м).

Пункт 3: с. Квітневе, Попільнянської р-н, Житомирської обл. Водосховище Унава. Довжина берегової лінії становила 450-600 м, ширина – 100-130 м. Берега були вкриті густою рослинністю. Прозорість води вимірювали за допомогою диска Секкі і вона становила 12 см. Запах води відчували як прілий, колір води був світло-жовтий. У цій місцевості спостерігали водосховище, що було заболоченим. За інформацією місцевого населення у водосховищі мешкають такі риби, як карась, окунь, плотва, короп, лящ. Відповідно місцеве населення займається риболовлю. Також бачили розорані поля (за 125 м від річки). Поруч за 1800 м вище від річки знаходиться Миролубівський кар'єр.

Пункт 4: с. Єрчики, Житомирської р-н, Житомирської обл., водосховище. Довжина берегової лінії становила 450-1000 м, ширина – 40 м. Берега вкриті густою рослинністю, чагарниками, очеретом. Прозорість води за допомогою диска Секкі становила 11 см. Був присутній запах у воді, схожий до прілого, колір – світло-жовтий. Місцевість має рекреаційне призначення, оскільки на річці знаходиться водосховище, відповідно спостерігали чимало несанкціонованого сміття (папір, пластик, засоби гігієни). За інформацією місцевого населення у водосховищі є риба (карась, окунь, плотва, короп, лящ). Варто зазначити, що практично вся територія поруч із річкою та уздовж водосховища охоплена приватними присадибними ділянками з розораними

сільськогосподарськими полями. Також поруч знаходяться елеватори та ферми з худобою.

Пункт 5: с. Кошляки, Попільнянського р-н, Житомирської обл. Річка у цій місцевості заболочена та замулена. Берега вкриті густою рослинністю з очеретом. Берег місцевості кам'янистий із наявністю у воді гниючих рослинних залишків. Прозорість води за допомогою диска Секкі становила 8 см. Запах води схожий на прілий, колір води – зелений. Біля річки знаходилося оголошення про заборону вилову риби. Також поблизу річки розташовані ферми з тваринами, приватні присадибні ділянки (за 10 м від річки) та розорані поля (за 250 м від річки).

Пункт 6: с. Півні, Фастівський р-н, Київської обл. Річка в цій місцевості заболочена та замулена з вкритою густою рослинністю берегами. Прозорість води за допомогою диска Секкі складала на момент забору проб води 9 см. Запах води схожий на прілий, колір ніби як «затхлий». Поблизу річки спостерігали розорані поля (за 15 м від річки). Річка в цій місцевості досить вузька з наявністю «гниючої рослинності» в ній.

Пункт 7: с. Волиця, Фастівського р-н, Київської обл. Річка у цій місцевості заболочена. Варто зазначити, що як такої берегової лінії у цій місцевості взагалі не було. Місцевість характеризувалася наявністю водно-болотних угідь вздовж берегу. Спостерігали абразійні процеси та наявність у воді чагарників й очерету. Прозорість води за допомогою диска Секкі становила до 10 см. Запах води ніби «прілий та затхлий», а колір води «мутний». Як і в попередніх місцях, ми спостерігали поблизу приватні присадибні ділянки (приблизно за 350 м від річки) та поля з агрокультурами (за 1000 м від річки).

Пункт 8: м. Фастів, Київської обл., Фастівське водосховище на р. Унава. Берега водосховища вкриті густою рослинністю, з наявністю очерету на березі та у воді. Прозорість води становила до 13 см. Був присутній «прілий» запах води, колір води ніби «землистий». Місцевість водосховища з одного боку мала поблизу річки поля з агрокультурами, з іншого боку – лісисту місцевість.

Територія водосховища призначена для питних, рекреаційних потреб (наявність несанкціонованого сміття), а також для риболовлі (наявність таких видів риби, як карась, окунь, плотва, короп, лящ, чебачок амурський). Нижче від точки забору води знаходиться урбанізація м. Фастів.

Пункт 9: між с. Мала Офірна та с. Велика Офірна. Цій місцевості, як і попередній, характерна густа рослинність з очеретом. Прозорість води становила до 11 см. Спостерігали «прілий» запах води, колір води світло-жовтий. Нижче від точки забору проб води розташовані с. Тарасенки та с. Кліщіївка, вище – с. Мала Снітинка. Поруч від річки знаходяться приватні присадибні ділянки (приблизно за 120 м від річки), поля з агрокультурами (за 125 м від річки), підприємство з переробки яблук (за 450 м від річки).

Пункт 10 – впадає у р. Ірпінь (гирло): поблизу с. Перевіз у напрямку між с. Чорногородка та с. Дзвінкове, Васильківського району Київської обл. Русло річки досить вузьке з прозорістю води 17 см. Також запах води «болотяний», колір – «землистий». Варто зазначити, що русло річки протікає вздовж розораних сільськогосподарських полів.

Воду з р. Унава відбирали на відстані 1,5-2,0 м від берегу, повністю зануливши ємність у воду на глибину 0,5-1,5 м. (залежно від глибини річки в точці забору води). Для забору проб води використовували скляні банки ємністю 3 л. Перед забором проб води кришки промивали п'ять разів. Наповнювали банки та пляшки до максимального рівня, не залишаючи місця для повітря в середині. Банки нумерували відповідно до заздалегідь оформленого протоколу відбору проб води. Відбирання проб проведено відповідно до вимог ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT).

Екологічну оцінку р. Унава здійснювали на основі разових вимірювань окремих показників якості води, що дозволяє та відповідає встановленим вимогам. Вимірювання окремих показників виконували в акредитованих хімічних лабораторіях:

– у 2024 році – вміст загальних гідрохімічних та гідрофізичних показників якості води, важких металів виконували в хімічній сертифікованій лабораторії ТОВ «УкрХімАналіз» відповідно до укладеного договору №Х14357 від 11.11.2024 р.

– у 2022 році – вміст загальних гідрохімічних та гідрофізичних показників якості води, важких металів виконували в сертифікованій лабораторії «Вимірювальна лабораторія якості води питної природної, стічної» Національного університету біоресурсів та природокористування.

Загальна характеристика методів хімічного аналізу зразків води наведено в додатку Б.

Річкова система р. Унава – це трансформована гідроекосистема внаслідок інтенсивного господарського освоєння та урбанізації. Річка Унава знаходиться в межах Київської та Житомирської областей України. Практично до 75 % прибережної її зони включають ріллю та приватні присадибні ділянки. На р. Унава розташовані три водосховища (ставкове господарство «Попільна»), які слугують для рекреаційних цілей та спортивної риболовлі.

Таблиця 2.1.

Характеристика досліджуваних пунктів відбору проб води водойми р. Унава [109]

Пункти	Усереднені дані за власними польовими дослідженнями			Ступінь антропогенного впливу на прибережну зону
	Ширина, м	Глибина, м	Швидкість течії, сек/год	
1	2	3	4	5
1	25,0	2,0	0,1	Початок річки (витік). Наявність розораних с.-г. полів (з одного боку до полів – 20 м, з іншого – 100 м), наявність зрошувального каналу, міська дорога за 300 м, лісиста територія за 25 м, до першого приватного будинку в селі – 500 м. Вище від точки відбору – с. Городище.
2	4,5	2,0	0,1	Від точки відбору до першого приватного будинку – 405 м, до розораних с.-г. полів – з одного боку 100 м, з іншого – 200 м. Зверху від точки відбору розташовані с. Маркова Волиця та с. Сокільча; знизу від точки – с. Миролюбівка. Відстань від точки до міської дороги – 5000 м. У зоні до 10 км розташовані приватні присадибні ділянки, які не мають центрального підключення до водопостачання та водовідведення, також фермерські господарства з вирощування зернових та технічних культур.
3	225,0	3,2	1,5	Водосховище на річці заболочене, проте в є наявність риб (карась, окунь, плотва, короп, лящ). На території водосховища розташоване ставкове господарство з вирощування риб «Попільна». Відстань від водосховища до першого приватного будинку – 122 м. Вздовж берега присутня деревна рослинність та чагарники. Від точки відбору до першого розореного поля – 125 м. З одного боку приватні присадибні ділянки, с.-г. поля, з іншого – лісистість із поєднанням с.-г. полів. Вище від точки відбору є с.-г. поля, Миролюбівський кар'єр та с. Миролюбівка, нижче – с. Квітневе.
4	420,0	5,0	0,1	Водосховище має рекреаційне призначення для місцевості, через що знаходили багато несанкціонованого сміття; рибальство – наявність таких риб, як карась, окунь, плотва, короп, лящ. На території водосховища розташоване ставкове господарство з вирощування риб «Попільна». У деяких місцях до міської дороги відстань становить 10 м. Також відстань до с.-г. полів від точки відбору становить 25 м. Практично вся територія біля водосховища охоплена приватними присадибними ділянками з розореними с.-г. полями. Біля водосховища розташовані елеватори та стайні з худобою.

1	2	3	4	5
5	350,0	5,5	0,3	Річка протікає через с. Кошляки. Присутня табличка, прозаборону вилову риби ловити, хоча рибаки були присутні. Біля території відбору проби води розташоване ставкове господарство з вирощування риби «Попільна». Поблизу є стайні з тваринами. Від точки відбору до першого приватного будинку із с.-г. полями – 10 м, до розореного поля – 250 м.
6	103,0	2,0	1,5	Від точки відбору до першого розореного с.-г. поля – 15 м. Ширина берегів занадто вузька і розорані с.-г. поля розташовані близько до річки – від 10 до 15 м. Вище від точки відбору знаходиться с. Кошляки, нижче – с. Дмитрівка та с. Волиця. До найближчої міської дороги відстань складає 4500 м.
7	4,5	1,0	0,5	Вище від точки відбору знаходиться с. Волиця та розорені с.-г. поля; нижче – з обох сторін територія виглядає як лісиста місцевість, заболочена, вкрита густою рослинністю, є водно-болотні угіддя. До міської дороги відстань складає 125 м, до першого приватного будинку – 350 м, до с.-г. полів – 1000 м.
8	475,0	5,5	1,5	Вище від точки відбору розташовані с.-г. поля з одного боку, з іншої – лісиста місцевість, урбанізація м. Фастів. Нижче від точки відбору розташована урбанізація м. Фастів. Розташоване Фастівське водосховище, яке використовують для рекреації (наявність несанкціонованого сміття), господарсько-питних цілей міста та риболовлі (наявність таких категорій риб, як карась, окунь, плотва, короп, лящ, чебачок амурський). Від точки відбору за 150 м знаходяться приватні присадибні ділянки із с.-г. полями. До найближчої міської дороги відстань становить 500 м.
9	25,0	1,5	0,1	Вище від точки відбору розташовані с. Мала Снітинка та м. Фастів; нижче – с. Тарасенки та с. Кліщіївка. Місцевість, де був відбір проб, вода була заболоченою. До першого приватного будинку від точки відбору – 118 м, до с.-г. полів – 125 м, до ґрунтової дороги – 230 м. Неподалік розташоване підприємство з переробки яблук.
10	5,2	1,0	0,1	Гирло річки. Річка протікає між полями. Нижче від точки відбору – місце де впадає річка в річку Ірпінь на південний захід від с. Перевіз. Вище від точки відбору розташовані с.-г. поля.
Усереднені	163,720	2,77	0,6	<i>Загальний висновок:</i> із точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; із дифузних джерел забруднення впливають рілля як із приватних господарств, так і фермерських господарств.

Одне водосховище розташоване на території м. Фастів (Київська обл.) і слугує для господарсько-питних цілей, спортивної риболовлі та рекреації. Також у районах прибережних зон знаходяться зернові елеватори та ферми з худобою. Річка є досить заболоченою, з наявністю на берегах чагарників та різної рослинності.

Гідрологічний режим річки щороку погіршується за рахунок антропогенного впливу, що спричинило винос продуктів ерозії (разом із біогенними речовинами – поживними речовинами) у річку, наслідків зміни клімату, що призвели до обміління річки, та впливу війни, яка додала більших концентрацій токсичних речовин у водоймі.

Характеристика досліджуваних пунктів забору проб води та морфологія місцевості опубліковані автором дисертації у наукових статтях [30, 109, 110].

2.2. Методика проведення досліджень

Методологія дослідження включала індикаторний підхід для проведення оцінювання екологічного стану р. Унава (схему наукового дослідження представлено на рис. 2.1-2.2).

Нами запропоновано розподілити показники якості води на індикаторні групи (рис. 2.3), кожна з яких описує екологічний стан річки *залежно від оцінювання*:

- загального гідрологічного стану річки (зелений колір);
- рівня токсичності води для живих організмів (оранжевий та сірий кольори);
- типу забруднення води (голубий колір);
- придатності води для нормального функціонування водних організмів (світло-червоний колір).

Основна характеристика мети оцінювання наведена в додатку В.

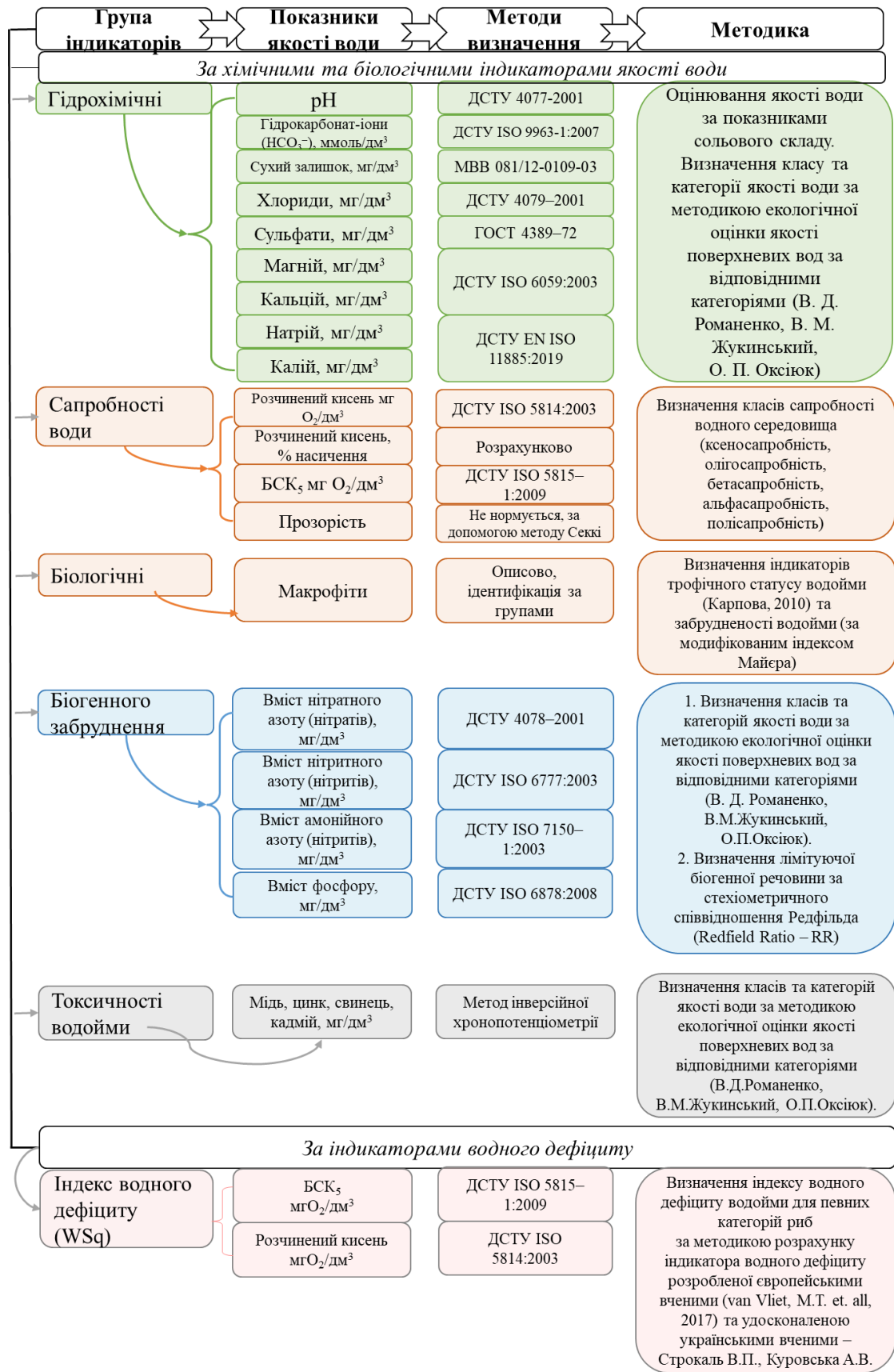


Рис. 2.3. Алгоритм (методологія) оцінювання екологічного стану р. Унава за індикаторними групами показників (Блок А схеми наукового дослідження)

Індикаторна група *гідрохімічних показників* (зелений колір на рис. 2.3) включає показники, які оцінюють сольовий склад річки. За цією групою показників запропоновано оцінити клас якості та категорію якості річки за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (табл. 2.2) [83]. Клас якості води дає можливість оцінити якість річки за її станом (від «відмінних» – I клас якості до «дуже поганих» – V клас якості). Визначена категорія якості за цією методикою оцінює якість води за ступенем їхньої чистоти (забрудненості) від 1 категорії («дуже чисті») до 7 категорії («дуже брудні»).

Таблиця 2.2.

Класифікація поверхневих вод за класами та категоріями якості [83]

Клас якості	I	II		III		IV	V
Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
Колір							
Характеристика класів і категорій							
• Якість води за її станом	відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередині	погані	дуже погані
• Якість води за ступенем її чистоти (забрудненості)	дуже чисті	чисті	досить чисті	слабко-забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні

Індикаторна група *показників сапробності води* (оранжевий колір на рис. 2.3) включає такі показники сапробності водного середовища, як прозорість води, процентне насичення води киснем (розраховується на основі визначеного фактичного вмісту розчиненого кисню у воді на момент забору проб води у мг/дм³), біологічне споживання кисню у воді. Індикаторна група показників сапробності води дає можливість оцінити класи сапробності за основними трьома категоріями: «чиста вода» – ксеносапробна та олігосапробна; «забруднена вода» – бетасапробна та альфасапробна; «брудна вода» – полісапробна та гіперсапробна [75, 87, 113, 114, 71, 123, 133, 134].

Використання класів сапробності водного середовища дає можливість оцінити річку на ступінь токсичності її для водних організмів. Оскільки сапробність водного середовища включає показники кисневого балансу (рівень розчиненого кисню у воді, процентне насичення води киснем) та показник біологічного споживання кисню, який є індикатором органічного забруднення річки, ця індикаторна група показників оцінки річки дає нам можливість спрогнозувати основні джерела забруднення та чинники, які могли вплинути на погіршення якості води.

Наступна *індикаторна група* включає такі біологічні показники, як макрофіти, що входять до набору груп індикаторних організмів-сапробіонтів (оранжевий колір на рис. 2.3). За цією індикаторною групою показників оцінюємо трофічний статус річки (за класифікацією Карпова, [61, 86]) та її забрудненість (за модифікованим індексом Майєра [61, 86]), що дає змогу надати висновок про наявність індикаторних організмів-сапробіонтів, які так само засвідчують рівень токсичності води для живих організмів.

Індикаторна група токсичності (сірий колір на рис. 2.3) дає змогу оцінити стан річки за такими головними показниками, як важкі метали, зокрема концентрацією умісту свинцю, цинку, кадмію та міді у воді, виступаючи канцерогенами для аквакультури. Ця група є важливою для більш повної оцінки стану водойми, оскільки водні організми, що проживають у воді, досить активно реагують на вищезазначені концентрації важких металів [75, 123]. Наявність навіть незначної концентрації важких металів у воді може бути токсичною для гідробіонтів, спричиняючи отруєння та в подальшому замор риби [113, 114]. За цією групою показників запропоновано оцінити клас якості та категорію якості води за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (табл. 2.2) [83].

Індикаторна група показників біогенного забруднення (голубий колір на рис. 2.3) оцінює річку за відповідним типом забруднення як біогенне забруднення. Водночас це означає, що річка містить високі концентрації (вище нормативу або оптимального значення) показників таких поживних речовин,

як уміст азоту амонійного, нітратного та нітритного, а також уміст фосфору у воді [113, 30]. Біогенне забруднення річок України носить системний характер. Надзвичайно важливо вести постійний моніторинг за наявністю біогенних речовин у природних водах (поживні речовини), оскільки вони не лише погіршують якість води в річках, але й стимулюють різні мікробіологічні процеси, підсилюючи процеси антропогенної евтрофікації річок [30].

За цією індикаторною групою показників біогенного забруднення оцінюємо річку за двома напрямками [30]:

1) класами та категоріями якості води (методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [83]), що дає можливість визначити якість води за її станом та ступенем забрудненості (табл. 2.3);

2) величиною лімітуючої біогенної речовини за стехіометричного співвідношення RR , що дає уявлення про переважаючий тип забруднення (який із типів джерел – точкові чи дифузні – має більший вплив на забруднення річки).

Важливим аспектом під час оцінювання річок за біогенними речовинами є порівняння фактичних концентрацій цих речовин із їхнім оптимальним значенням. Це дає можливість визначити, чи впливають ці речовини на водні організми, демонструючи ступінь перевищення відносно оптимальних значень або відповідність цим значенням. Оптимальні значення концентрацій біогенних речовин у водоймі для різної мети використання водойми наведені в таблиці 2.4. Також під час оцінювання водойми за цією групою показників вагоме значення мають одиниці вимірювання фактичних концентрацій.

Проводять визначення лімітуючої біогенної речовини за стехіометричного співвідношення RR для річкової екосистеми на основі отриманих проаналізованих даних біогенного забруднення (аналіз біогенних речовин). Співвідношення RR дозволяє відстежити баланс нітратів та фосфатів у поверхневих водах річки [73, 100]. Також він показує ступінь лімітування продукційних процесів у фітопланктоні [56] та надлишок / нестачу азоту або фосфору в річці [55].

Таблиця 2.3.

Нормативні (оптимальні) значення основних біогенних речовин для оцінювання річки (поверхневі води)

[30, 83]

Показник якісного стану води	Методика «Екологічна оцінка якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (1998 р.) [83]								
	Екологічна класифікація якості поверхневих вод								
	Од. вим.	Клас якості	I	II		III		IV	V
		Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
Фосфати –PO ₄ ³⁻	мгP/дм ³		<0,015	0,015-0,030	0,031-0,05	0,051-0,10	0,101-0,20	0,201-0,300	>0,30
Азот амонійний – NH ₄ ⁺	мгN/дм ³		≤0,1	0,10-0,20	0,21-0,30	0,31-0,50	0,51-1,00	1,01-2,50	>2,50
Азот нітратний – NO ₃ ⁻	мгN/дм ³		<0,20	0,20-0,30	0,31-0,50	0,51-0,70	0,71-1,00	1,00-2,50	>2,50
Азот нітритний – NO ₂ ⁻	мгN/дм ³		<0,002	0,002-0,005	0,006-0,01	0,011-0,02	0,021-0,05	0,051-0,10	>0,10
Характеристика класів та категорій якості води	Клас якості [83]		відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередині	погані	дуже погані
	Категорія якості [83]		дуже чисті	чисті	досить чисті	слабко–забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні
	Загальна інформація [92]		Річка є ксено- або олігосапробною. Мешкає чимало видів організмів, але їхня чисельність невелика (сувійка, дафнія лонгіспіна, діатомова водорість сінедера). Процеси евтрофікації практично відсутні.			Річка є мезосапробною. У планктоні мешкає багато організмів, які мінералізують органічні речовини. Можуть розвиватися зелені та діатомові водорості.		Річка є полісапробною. Мешкає безліч безкольорових джгутиконосців, грибів (стічний гриб), деякі види інфузорій, сапробактерії, ниткові бактерії (сферотилус) та інші. Процеси евтрофікації посилені й активні.	

Таблиця 2.4.

Нормативні (оптимальні) значення основних біогенних речовин за потребами використання в питних та рекреаційних цілях, для річок рибогосподарського призначення [30]

Показник якісного стану води	Нормативи (оптимальні значення) за потребами щодо використання води з річок														
	Для річки РГП*		Для оцінювання річок (водних об'єктів) як середовища для гідробіонтів, для задоволення питних (централізоване / децентралізоване водопостачання), господарсько-побутових, рекреаційних та інших потреб												
	СОУ [93]		МОЗ України від 02.05.2022 р. №721 [94]			ДСанПіН 2.2.4-171-10 [95]		ДСТУ 7525:2014 [96]			ДСТУ 4808:2007 [97]				
	Од. вим.	Категорія - карпові	Од. вим.	Перша категорія ¹ (питне)	Друга категорія ² (рекреація та ін.)	Од. вим.	Для питної води (водопровідної)	Од. вим.	Централізоване водопостачання	Нецентралізоване водопостачання	Централізоване водопостачання				
											Класи якості води				
											Од. вим.	1 - відмінна	2 - добра	3 - задовільна	4 - посередня, ОП**
Фосфати PO_4^{3-} –	Мг P/дм ³	≤0,5	мг PO_4^{3-} /дм ³	3,5	3,5	мг PO_4^{3-} /дм ³	≤3,5	мг PO_4^{3-} /дм ³	≤3,5	-**	Мг P/дм ³	<0,3	0,3-0,5	0,6-1,0	>1,0
Азот амонійний NH_4^+ –	мг N/дм ³	≤1,0	мг NH_4^+ /дм ³	2,0	2,0	мг NH_4^+ /дм ³	0,5-2,6	мг NH_4^+ /дм ³	0,5-2,6	-**	Мг N/дм ³	-**	0,05-0,50	0,51-2,00	>2,00
Азот нітратний NO_3^- –	мг N/дм ³	≤2,0	мг NO_3^- /дм ³	45,0	45,0	мг NO_3^- /дм ³	≤50,0	мг NO_3^- /дм ³	≤50,0	≤ 5,0	Мг N/дм ³	<5,0	5,0-7,0	7,1-10,0	>10,0
Азот нітритний NO_2^- –	мг N/дм ³	≤0,1	мг NO_2^- /дм ³	3,3	3,3	мг NO_2^- /дм ³	≤0,5	мг NO_2^- /дм ³	≤0,5	≤ 0,02	Мг N/дм ³	<0,05	0,05-0,50	0,51-1,00	>1,00

*РГП – річка для рибогосподарського призначення; **ОП – вода за категорією «обмежено придатна» для використання.

Оскільки в нашій досліджуваній річці досить візуально під час польових турів спостерігалися процеси евтрофікації, використання співвідношення RR досить актуальним та дало можливість нам визначити лімітуючий чинник впливу на антропогенну евтрофікацію р. Унава. Варто зазначити, що для розрахунку RR використовують результати вимірювання вмісту мінеральних форм азоту (іони амонію – NH_4^+ , нітрат-іонів – NO_3^- , нітрит-іонів – NO_2^-) та загального фосфору у воді.

Стехіометричне співвідношення RR визначають за формулою [56]:

$$RR (N/P) = 1,53 \times ((1,35 \times [NO_2^-] + [NO_3^-] + 3,44 \times [NH_4^+]) / [PO_4^{3-}]), \quad (2.1)$$

де концентрації йонів виражено в мкг/дм³.

За $RR (N/P) > 16$ лімітування первинної продукції фітопланктону можна розраховувати за мінеральним фосфором (означає, що лімітуючою біогенною речовиною є іони мінерального фосфору, а йони мінерального азоту перебувають у надлишку, тобто переважаючим є азотне забруднення річки), а за $R (N/P) < 16$ – за азотом (означає, що лімітуючою біогенною речовиною є йони мінерального азоту, йони фосфору перебувають у надлишку і, відповідно, є чинником переважаючого фосфорного забруднення річки).

Оцінювання річки за *індикатором водного дефіциту* (світло-червоний колір на рис. 2.3) дає можливість визначити придатність річки, як середовища для нормального функціонування водних організмів, а також проаналізувати можливості встановлення водного дефіциту у річці для різних видів риб за показниками кисневого балансу (біологічне споживання кисню, рівень розчиненого кисню у воді).

Індикатор водного дефіциту – індекс водного дефіциту (WSq), який дає змогу інтегрувати якісний стан води з його кількісним станом для відповідного виду водокористування. Для розрахунку цього індексу дефіциту води для певних категорій риб застосована розроблена європейськими вченими методика (van Vliet M.T. et. all, 2017 [37]), яка була вперше адаптована та застосована для Київського водосховища України [113, 114].

Водний дефіцит розраховують за формулою 2.2 відповідно до методики [78, 99]:

$$WSq = \frac{\sum_{j=1}^n (D_j + dq_{ij})}{Q}, \quad (2.2)$$

Де WSq (water scarcity including quality) – дефіцит води, включно з якістю води (безмірна величина);

D_j – загальне споживання води за сектором j , визначається для кожного виду водокористування окремо ($\text{км}^3/\text{рік}$);

$dq_{i,j}$ – додаткова кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для сектора j з урахуванням забруднювача i (км^3), розрахункова величина.

Показник $dq_{i,j}$ розраховується на основі стандарту певного показника якості води за формулою 2.3:

$$dq_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } C_i \leq C_{\max i,j} \\ \left(\frac{Q * C_i}{C_{\max i,j}} - Q \right), & \text{якщо } C_i > C_{\max i,j} \end{cases} \quad (2.3)$$

Де C_i – фактична концентрація i показника якості води для певного сектору (виду водокористування), одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води;

$C_{\max i,j}$ – максимальне (нормативне) значення i показника якості води для певного сектору (виду водокористування), одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води;

Q – загальна кількість води у водному об'єкті (км^3).

Якщо концентрація i показника (забруднювача) не перевищує встановлені нормативні значення, тоді приймаємо умову – $C_i \leq C_{\max i,j}$, $dq_{i,j} = 0$. Якщо концентрація i показника (забруднювача) перевищує встановлені нормативні значення, тоді приймаємо умову – $C_i > C_{\max i,j}$, і проводиться розрахунок $dq_{i,j}$ за формулою 2.3 [37, 114].

Інтерпретація індикатора водного дефіциту наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.

Інтерпретація результатів індикатора водного дефіциту [37, 114]

Градація	Індикатор водного дефіциту WSq	Пояснення
0–0,2	Низький рівень	Дефіциту води немає. Кількість доступної якісної води достатня для <i>j</i> сектора.
0,2–0,4	Середній рівень	Дефіцит води відчутний, варто звернути увагу які показники вплинули на доступність якісної води для <i>j</i> сектора. Кількість доступної якісної води частково достатня для <i>j</i> сектора.
0,4–0,6	Високий рівень	Рівень дефіциту води високий. Існує ризик забруднення води, що унеможлиблює її використання. Кількість доступної якісної води для <i>j</i> сектора – практично не доступна.
>0,6	Дуже високий рівень	Рівень дефіциту води дуже високий. Водний об'єкт не можна використовувати для <i>j</i> сектора через наявність високо рівня забрудненості. Кількість доступної якісної води для <i>j</i> сектора – відсутня.

Отже, оцінка стану річки враховує групу показників за хімічними та біологічними індикаторами (група гідрохімічних та біологічних індикаторів, група індикаторів сапробності та токсичності води, індикатори біогенного забруднення води), а також індикатор водного дефіциту, який дає можливість спрогнозувати доступну кількість якісної води для певних потреб водокористування.

Методику визначення індексу дефіциту води для р. Унава опубліковано в науковій статті [109], методика оцінки водойми р. Унава за вмістом біогенних речовин з розрахунком співвідношення RR опубліковано в науковій статті [30], методику оцінки водойми р. Унава за показниками сапробності водного середовища та індикаторами сапробності опубліковано в науковій статті [110] за авторством Строкаль В. П. та Гаць А. К.

Висновки до розділу 2

У розділі проаналізовано умови та місце проведення досліджень. Зокрема, наведено опис 10 точок забору проб води, процедуру пробовідбору з р. Унава, починаючи з витoku річки (1 пункт спостереження), завершуючи гирлом річки, надходженням річки до р. Ірпінь (10 пунктів спостереження).

Зроблено опис прогнозованих антропогенних чинників впливу на якісний стан води. Зокрема, виокремлено, що головними чинниками є висока розораність берегів річки з наявністю біля них як присадибних приватних господарств, так і фермерських господарств. Також одним із чинників визначено високу зарегульованість річки, що стало причиною наявності на берегах річок густої рослинності з дерев та чагарників.

Розроблений алгоритм виконання наукової дисертаційної роботи. Алгоритм включає аналітичний пошук літературних джерел актуальності обраної теми, роз'яснення чинників антропогенного впливу на екосистему малих річок та вагомість малих річок, як джерел екосистемних послуг, які підтримують екологічний, соціальний та економічний розвиток держави. Відповідно до алгоритму основну частину дисертаційної роботи поділено на дві підчастини. Перша – Блок А, що включає аналіз оцінки стану річки за індикаторами якості води (гідрохімічні, біологічні, індикатори сапробності води та токсичності, індикатори водного дефіциту) та виокремлення екологічних, соціальних та економічних ризиків, які можуть вплинути на якість річки та її збереження. На основі Блоку А нами розроблена програма відновлення р. Унава (Блок Б), яка передбачає розробку схеми впровадження заходів з відновлення річкової системи та пропозиції з оцінювання стану річки на основі індикаторного підходу. Логічним завершенням алгоритму виконання дисертаційного дослідження є виокремлення ключових висновків.

Розроблено методологію оцінювання р. Унава, яка базується на індикаторному підході. Зокрема виокремлені такі основні системні індикаторні групи: індикаторна група хімічних і біологічних показників якості річки (група гідрохімічних і біологічних індикаторів, група індикаторів

сапробності й токсичності води, індикатори біогенного забруднення води) та індикатор водного дефіциту для прогнозу доступності необхідної кількості якісної води для різних видів водокористування. Цей підхід дає змогу визначити стан річки залежно від оцінювання загального гідрологічного стану річки, ступеня токсичності води для водних організмів, типу забруднення, придатності річки як середовища для нормального функціонування водних організмів.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА СТАНУ Р. УНАВА ЗА ІНДИКАТОРНИМ ПІДХОДОМ

3.1. Оцінка за індикаторною групою гідрохімічних показників

Індикаторна група гідрохімічних показників (рис. 2.3) включає показники якості води, що визначають сольовий склад води [83]. Серед пунктів спостереження р. Унава було обрано 10 ділянок, на яких відбувався забір проб води (рис. 2.2, табл. 2.1). Для кожної ділянки спостереження за якісним станом річки визначали по три середні значення гідрохімічних показників і для оцінки брали середньозважені значення цих показників.

Сольовий склад водойми включає *показники аніонного* (гідрокарбонати (HCO_3^-), хлориди (Cl^-), сульфати (SO_4^{2-})) та *катіонного складу* (кальцій (Ca^{2+}), магній (Mg^{2+}), натрій (Na^+), калій (K^+)). Також до групи гідрохімічних показників нами додані показники *загального вмісту солей* та водневий показник рідини, який вказує на кислотно-лужний баланс у ній (рН). Вищезазначені показники дають можливість характеризувати звичайні водні властивості для нормального функціонування флори й фауни. Ця група індикаторних показників має таке екологічне значення для річки: визначає мінералізацію та йонний склад води, класифікує воду за компонентами сольового складу для визначення прісних гіпо- та олігогалинних вод [83, 87, 114]. Саме тому досить важливим для оцінки р. Унава було провести оцінювання її за вищезазначеними показниками.

Нами до цієї групи додані показники, які об'єднали в індикаторну групу гідрохімічних показників якості води. Відповідно, для оцінки р. Унава використані показники аніонного, катіонного складу, загальний вміст солей та водневий показник.

У додатку Г наведені статистична обробка даних за гідрохімічними показниками.

Оцінюючи загальний екологічний стан води річки за вищезазначеними показниками (рис. 3.1), можемо зазначити, що:

- уміст переважаючого аніонного гідрокарбонату у воді змінювався в бік зменшення від 531 мг/дм³ (у 2022 р.) до 281 мг/дм³ (у 2024 році);
- уміст переважаючого катіона – кальцію у воді змінювався в бік зростання від 36 мг/дм³ (у 2022 році) до 134 мг/дм³ (у 2024 році);
- уміст переважаючого катіону – магнію у воді змінювався від 16 мг/дм³ до 37 мг/дм³ у межах досліджуваних років (2022 рік, 2024 рік);
- уміст переважаючого катіону – натрію в 2024 році був у межах від 16 мг/дм³ до 36 мг/дм³ залежно від пункту спостереження;
- уміст переважаючого катіону – калію в 2024 році був у межах 3,8-8,3 мг/дм³;
- уміст сульфатів у воді від 7 мг/дм³ до 478 мг/дм³ у 2022 році, та від 26 мг/дм³ до 54 мг/дм³ у 2024 році;
- уміст хлоридів у середньому становив у 2022 році 89,92 мг/дм³ (від мінімального значення 76,19 мг/дм³ до максимального його значення 138,1 мг/дм³), у 2024 році – 36,7 мг/дм³ (від мінімального значення 8,26 мг/дм³ до максимального його значення 58,9 мг/дм³);
- уміст за середньозваженими значеннями сульфатів у воді становив у 2022 році 27,2 мг/дм³ (від мінімального значення 7,0 мг/дм³ до максимального його значення 48,0 мг/дм³) та в 2024 році – 32,9 мг/дм³ (від мінімального значення 20,0 мг/дм³ до максимального його значення 54,0 мг/дм³);
- уміст загального вмісту солей у 2022 році становив у середньому 543 мг/дм³ (від мінімального значення 7,0 мг/дм³ до максимального його значення 742 мг/дм³), та в 2024 р – 554,7 мг/дм³ (від мінімального значення 490 мг/дм³ до максимального його значення 725 мг/дм³).

Варто зазначити, що водневий показник становить у середньому 7,9-8,1, що є оптимальним параметром для нормального функціонування річкової екосистеми.

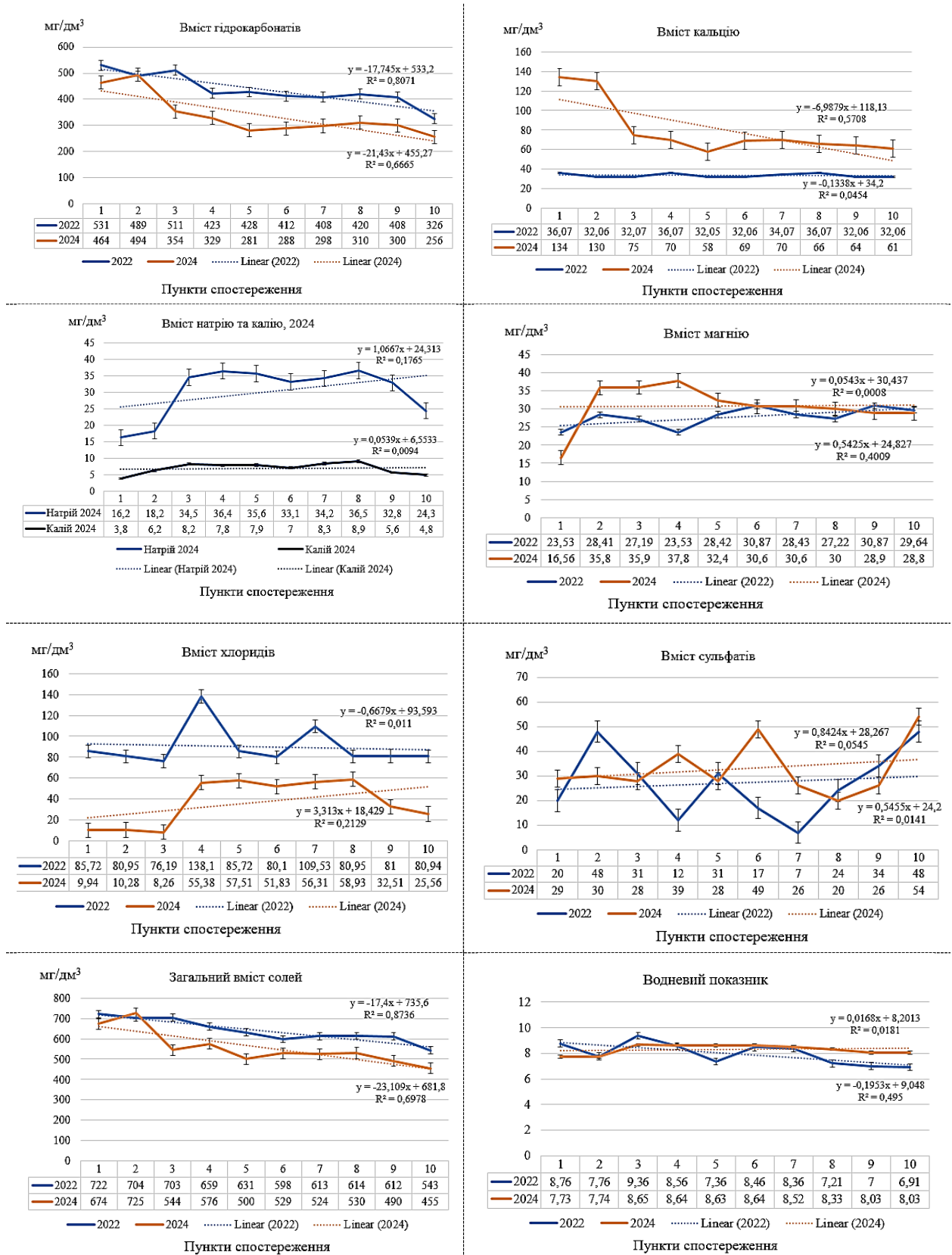


Рис. 3.1 Результати проведених аналітичних досліджень (n=3) за індикаторною групою гідрохімічних показників якості води р. Унава

Нами проведений аналіз індикаторної групи гідрохімічних показників для визначення класу та категорій якості води р. Унава за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк) [83]. Ця методика дала нам можливість провести визначення мінералізаційного складу та йонного складу води, класифікувати річку за компонентами сольового складу для визначення направленості річки до прісних гіпо- та / або олігогалинних вод.

Оцінюючи річку за катіонним складом, відмітили, що вода належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію (C_{II}^{Ca}) за величиною мінералізації – гіпогалинні 1 типу. Це свідчить про переважаючий катіон у досліджуваній воді – кальцій. Зокрема, середній уміст його становив у 2022 році $33,5 \text{ мг/дм}^3$ (мін. = 32 мг/дм^3 ; макс. = 36 мг/дм^3) та в 2024 році – $79,7 \text{ мг/дм}^3$ (мін. = 58 мг/дм^3 ; макс. = 134 мг/дм^3). Наявність високих концентрацій умісту кальцію в річці підвищує її буферні властивості та стимулює річкову екосистему бути більш стійкою до наявності в ній поллютантів та ксенобіотиків.

Оцінка за аніонним складом дала нам змогу класифікувати якість прісної гіпогалинної води р. Унава за критеріями забруднення сольовими показниками (табл. 3.1 – результати за 2022 рік, табл. 3.2 – результати за 2024 рік).

Оцінюючи воду р. Унава за вмістом хлоридів у ній:

- у 2024 році воду за вмістом усереднених значень хлоридів можна віднести до II класу (якісний стан відповідає градації «дуже добрий») 3 категорії (ступінь забрудненості відповідає градації «досить чисті») якості води ($Cl^- = 36,7 \text{ мг/дм}^3$);
- у 2022 р. – до III класу 4 категорії якості води ($Cl^- = 89,9 \text{ мг/дм}^3$), що відповідає градації якісного стану як «задовільний» та ступеню забрудненості – «слабко забруднені».

Таблиця 3.1.

**Якість прісної гіпогалинної води р. Унава за критеріями
забруднення сольовими показниками (2022 р.)**

Пункт спостереження	Показники сольового складу водойми								
	Хлориди (Cl^-), мг/дм ³			Сульфати (SO_4^{2-}), мг/дм ³			Загальний вміст солей, мг/дм ³		
	Фактична концент- рація	ККлас якості	Категорія якості	Фактична концентрація	ККлас якості	Категорія якості	Фактична концентрація	ККлас якості	Категорія якості
1	85,72±0,01	III	4	20,0±0,1	I	1	722,0±0,3	II	2
2	80,95±0,01	III	4	48,0±0,2	I	1	704,0±0,3	II	2
3	76,19±0,01	III	4	31,0±0,1	I	1	703,0±0,4	II	2
4	138,1±0,01	III	4	12,0±0,1	I	1	659,0±0,4	II	2
5	85,72±0,01	III	4	31,0±0,2	I	1	631,0±0,4	II	2
6	80,10±0,01	III	4	17,0±0,2	I	1	598,0±0,2	II	2
7	109,53±0,01	III	4	7,0±0,2	I	1	613,0±0,4	II	2
8	80,95±0,01	III	4	24,0±0,1	I	1	614,0±0,3	II	2
9	81,00±0,01	III	4	34,0±0,1	I	1	612,0±0,2	II	2
10	80,94±0,01	III	4	48,0±0,1	I	1	543,0±0,3	II	2
Σ _{сер}	89,9	III	4	27,2	I	1	639,9	II	2

Таблиця 3.2.

**Якість прісної гіпогалинної води р. Унава за критеріями
забруднення сольовими показниками (2024 р.)**

Пункт спостереження	Показники сольового складу водойми								
	Хлориди (Cl^-), мг/дм ³			Сульфати (SO_4^{2-}), мг/дм ³			Загальний вміст солей, мг/дм ³		
	Фактична концент- рація	Клас якості	Категорія якості	Фактична концентрація	Клас якості	Категорія якості	Фактична концентрація	Клас якості	Категорія якості
1	9,94±0,01	I	1	29±0,2	I	1	674±0,4	II	2
2	10,28±0,01	I	1	30±0,2	I	1	725±0,4	II	2
3	8,26±0,01	I	1	28±0,2	I	1	544±0,2	I	1
4	55,38±0,01	II	3	39±0,1	I	1	576±0,4	I	1
5	57,51±0,01	II	3	28±0,1	I	1	500±0,4	I	1
6	51,83±0,01	II	3	49±0,2	I	1	529±0,5	I	1
7	56,31±0,01	II	3	26±0,1	I	1	524±0,3	I	1
8	58,93±0,01	II	3	20±0,1	I	1	530±0,3	I	1
9	32,51±0,01	II	3	26±0,2	I	1	490±0,3	I	1
10	25,56±0,01	II	2	54±0,3	II	2	455±0,3	I	1
Σ _{сер}	36,7	II	3	32,9	I	1	554,7	I	1

Загалом вважають, що оптимальними значеннями хлоридів у річці мають бути значення не більше 75,0 мг/дм³ [114]. За більшої концентрації воду вважають забрудненою та такою, яка потребує заходів для відновлення процесів саморегуляції і самоочищення.

За вмістом сульфатів у воді (табл. 3.1-3.2) річка належить до I класу якості (стан водойми «відмінний») та 1 категорії (з відповідною градацією до ступеня забруднення «дуже чисті»). Уміст SO_4^{2-} з концентрацією її у воді до 100 мг/дм^3 свідчить про відсутність сульфатного забруднення [114]. За результатами нашого дослідження, середня концентрація SO_4^{2-} у досліджуваній воді р. Унава становила $27,2 \text{ мг/дм}^3$ (2022 рік) та $32,9 \text{ мг/дм}^3$ (2024 рік), що підтверджує відсутність такого типу забруднення.

Оцінка якісного стану річки за вмістом солей показала, що в 2022 році річка належала до II класу якості із 2 категорією, про що свідчили результати аналітичних досліджень того року. Зокрема, середня концентрація даного показника становила $639,9 \text{ мг/дм}^3$, що дало можливість оцінити річку за її станом як «дуже добрий» та ступенем забрудненості «чиста». У 2024 році концентрація цього показника була нижньою до 15 % і становила в середньому $554,7 \text{ мг/дм}^3$, що так само дало змогу нам оцінити річку за I класом та 1 категорією якості.

3.2. Оцінка за індикаторною групою показників сапробності води

Цю індикаторну групу показників якісного стану річки формують такі показники сапробності, як уміст розчиненого кисню у воді, біологічне споживання кисню, прозорість та ступінь насиченості води киснем (рис. 2.3).

Сапробність води є вагомим індикатором водного середовища, за допомогою якого можна визначити вплив особливо дифузних джерел забруднення на якісний стан води [101, 110, 114].

Індикаторна група показників сапробності води дає змогу оцінити класи сапробності за основними трьома категоріями: «чиста вода» – ксеносапробна та олігосапробна; «забруднена вода» – бетасапробна та альфасапробна; «брудна вода» – полісапробна та гіперсапробна [71, 75, 87, 113, 114, 123, 133, 134].

Нами була проведена оцінка стану води р. Унава за показниками сапробності водного середовища з визначенням класу сапробності. Вона

включала такі показники, як концентрація розчиненого кисню у відсотках насичення (O_2 , %), прозорість води (м), біологічне споживання кисню ($БСК_5$, $мг/дм^3$).

Для визначення класу сапробності води спочатку розраховували процентне насичення води киснем (O_2 , %). Вихідні дані представлені в таблицях 3.3-3.4. Варто зазначити, що O_2 води (процентне насичення води) відповідало певному температурному режиму повітря під час забору проб води. Відповідно нами були занотовані як температура повітря в момент забору проб води, так і вологість повітря та атмосферний тиск.

Процентне насичення киснем водойми (O_2 , %) визначали розрахунково, за формулою 3.1:

$$O_2, \% = \frac{C_x \times 100}{C_0}, \quad (3.1)$$

Де C_x – фактична концентрація кисню у воді, $мгO_2/дм^3$;

C_0 – нормальна концентрація кисню за певної температури та атмосферного тиску (760 мм рт. ст.), вимірюної під час забору проб води, $мгO_2/дм^3$.

Таблиця 3.3.

Вихідні дані для розрахунку процентного насичення води киснем (O_2 , %), 2024 р. [110]

Пункт забору проб води	C_x	C_0	t повітря на момент відбору проб води, °C	Атмосферний тиск на момент відбору проб води	O_2 , % насичення води киснем
1	4,41	12,46	6,0	771	35,39
2	5,51	12,46	6,0	760	44,22
3	4,81	12,14	7,0	762	39,62
4	8,25	12,46	6,0	770	66,21
5	9,51	12,46	6,0	770	76,32
6	10,35	12,46	6,0	769	83,07
7	9,12	12,46	6,0	765	73,19
8	8,93	12,46	6,0	768	71,70
9	6,81	12,79	5,0	760	53,24
10	6,89	12,79	5,0	772	53,87

Таблиця 3.4.

**Розрахунок процентного співвідношення насиченості киснем води
(O₂, %) [110]**

для 1 пункту: $O_2, \% = \frac{4,41 \times 100}{12,46} = 35,39$	для 6 пункту: $O_2, \% = \frac{10,35 \times 100}{12,46} = 83,07$
для 2 пункту: $O_2, \% = \frac{5,51 \times 100}{12,46} = 44,22$	для 7 пункту: $O_2, \% = \frac{9,12 \times 100}{12,46} = 73,19$
для 3 пункту: $O_2, \% = \frac{4,81 \times 100}{12,14} = 39,62$	для 8 пункту: $O_2, \% = \frac{8,93 \times 100}{12,46} = 71,70$
для 4 пункту: $O_2, \% = \frac{8,25 \times 100}{12,46} = 66,21$	для 9 пункту: $O_2, \% = \frac{6,81 \times 100}{12,79} = 53,24$
для 5 пункту: $O_2, \% = \frac{9,51 \times 100}{12,46} = 76,32$	для 10 пункту: $O_2, \% = \frac{6,89 \times 100}{12,79} = 53,87$

Насичення води киснем є важливим індикатором якісного стану води, особливо для риборозведення та водної екосистеми загалом. Цей індикатор показує ступінь насичення води органічними та біогенними речовинами, які є джерелом надходження забруднюючих речовин від точкових та дифузних типів забруднення.

З огляду на розрахунки, що наведені в таблицях 3.3-3.4, можна сказати, що процентне насичення води киснем суттєво відрізняється в пунктах спостереження, від 35 до 44 % у пунктах забору води 1-3, 66-83 % – 4-8, 53-54% – 9-10. Високий процент насичення киснем у 4-8 пунктах забору проб води з одного боку дає можливість віднести воду до класу бета- та олігосапробні, з іншого боку, під час забору проб води ми спостерігали інтенсивні виділення вуглекислого газу та наявність мертвих риб (така ситуація була і в 2022, і в 2024 роках). Підтвердженням наших припущень щодо наявності органічного та біогенного забруднення річки є показники прозорості та концентрації БСК₅ у відібраних пробах води.

За результатами дослідження сапробності водного середовища (табл. 3.5) спостерігаємо, що за величиною прозорості вода належить до

брудної води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних; за вмістом БСК₅ – до брудної води з полісапробним класом.

Варто зазначити, що глибина річки сягала до 2,5 м (пункти забору проб води 1-2, 5-7, 9-10), а в районі водосховищ – до 5,0 м (пункти забору проб води – 3-4, 8). Також швидкість течії була надзвичайно малою, її неможливо було виміряти, лише в районі водосховищ нами була змога виміряти швидкість течії і вона становила до 1,5 сек/год. Більшість району р. Унава є заболоченою. Нами також був виявлений «застій води», який впливає на накопичення органічних та біогенних речовин, що так само підсилює процеси забруднення та, відповідно, і евтрофікації.

Таблиця 3.5.

Характеристика води р. Унава за класами сапробності водного середовища [110]

Пункт забору проб води	Прозорість води, м		O ₂ , % насичення води		БСК ₅ , мг/дм ³	
	величина	клас сапробності	величина	клас сапробності	величина	клас сапробності
1	0,15	Полісапробні	35,39	Альфа-сапробні	12,8	Полі-сапробні
2	0,08	Гіперсапробні	44,22		12,8	
3	0,12	Полісапробні	39,62		18,9	
4	0,11		66,21	Бета-сапробні	20,1	
5	0,08	Гіперсапробні	76,32		17,6	
6	0,09		83,07	Оліго-сапробні	32,8	
7	0,10	Полісапробні	73,19	Бета-сапробні	19,6	
8	0,13		71,70		22,4	
9	0,11		53,24	Альфа-сапробні	15,1	
10	0,17		53,87		20,4	

Отже, за величиною прозорості води р. Унава належить до брудної води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних, за вмістом БСК₅ – до брудної води з полісапробним класом. Також слід у майбутньому провести додаткові моніторингові дослідження (мінімум 3 роки поспіль) за сезонністю для визначення вищенаведених показників сапробності води. Серйозне занепокоєння викликає те, що хоча рівень розчиненого кисню (включно з

відсотком насичення) є цілком оптимальним для такої малої річки, показник біохімічного споживання кисню значно перевищений, що свідчить про органічне забруднення річки, а прозорість води практично відсутня.

Основні результати дослідження за цією оцінкою опубліковані в науковій статті [110].

3.3. Оцінка за індикаторною групою біологічних показників води (макрофіти)

Наступна індикаторна група включає такі біологічні показники, як макрофіти, що входять до набору груп індикаторних організмів-сапробіонтів (рис. 2.3). За цією індикаторною групою показників оцінювали трофічний статус річки (за класифікацією Карпова, [86-61]) та забрудненість річки (за модифікованим індексом Майєра [86-61]).

Оскільки р. Унава належить до «застійних» річок, нами для оцінки токсичності води були обрані макрофіти, які є чутливими індикаторами стану водних екосистем [61]. Обстеження на групи макрофітів-індикаторів проводили як з берега, так і з берегу річки. Обстежували берег річки на відстані 100 м. Досліджували надводний ярус рослинності й власне поверхню води відстанню до 50 м від берегу річки. Огляд здійснювали візуально, занотовуючи в польовий щоденник. Види, які викликали сумнів або були не знайомі, збирали в поліетиленовий мішечок для подальшого вивчення.

За результатами візуального обстеження надводного ярусу річки та прибережної території (дослідження проводили упродовж вересня-листопада 2024 року) нами були визначені такі макрофіти-індикатори (табл. 3.6): *Potamogeton pusillus* – рдесник дрібнолистий (індикатор помірного забруднення води), *Stuckenia pectinata* – рдесник гребінчастий (індикатор забруднених вод), *Ceratophyllum demersum* – кушир занурений (індикатор забруднених вод), *Lemna minor L.* – ряска мала (індикатор забруднених вод),

Phragmites australis – очерет звичайний (індикатор забруднених вод), *Trapa natans* L. s. l. – водяний горіх (індикатор помірного забруднення вод).

Таблиця 3.6.

Макрофіти-індикатори стану сапробності води [110]

Пункт відбору проб води	Індикатори трофічного статусу води (Карпова, 2010)		Індикатори забрудненості води (за модифікованим індексом Майєра)	
	Макрофіти	Статус водойми	Макрофіти	Тип забруднення
1	2	3	4	5
1	<i>Ceratophyllum submersum</i> . – кушир напівзанурений	Мезотрофний	<i>Potamogeton pusillus</i> – рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	
2	<i>Ceratophyllum demersum</i> . – кушир занурений	Евтрофний	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Забруднені
3	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Евтрофний	<i>Phragmites australis</i> – очерет звичайний	Забруднені
4	<i>Ceratophyllum demersum</i> . – кушир занурений	Евтрофний	<i>Ceratophyllum demersum</i> . – кушир занурений	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
5	<i>Ceratophyllum demersum</i> . – кушир занурений	Евтрофний	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	<i>Ceratophyllum submersum</i> . – кушир напівзанурений	Мезотрофний	<i>Potamogeton pusillus</i> – рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
6	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Евтрофний	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – кушир напівзанурений	Мезотрофний	<i>Potamogeton pusillus</i> – рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
7	<i>Stuckenia pectinata</i> – рдесник гребінчастий	Евтрофний	<i>Phragmites australis</i> – очерет звичайний	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені

Продовження таблиці 3.6				
1	2	3	4	5
8	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Евтрофний	<i>Stuckenia pectinata</i> – рдесник гребінчастий	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо- евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
9	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Евтрофний	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Мезо- евтрофний	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	<i>Trapa natans</i> L. s. l. – кушир напівзанурений	Мезотрофний	<i>Potamogeton pusillus</i> – рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
10	<i>Stuckenia pectinata</i> – рдесник гребінчастий	Евтрофний	<i>Lemna minor</i> L. – ряска мала	Забруднені

Варто зазначити, що трофічний статус річки може змінюватися залежно від перебігу природних процесів або під впливом діяльності людини. Мезо-евтрофні води також мають статус перехідних, тобто якість води у річці погіршується і може перебувати в межах статусів мезотрофного та евтрофного (від середнього вмісту органічних речовин у воді до їхнього високого вмісту). Такий статус води свідчить про масовий розвиток мікроскопічних водоростей (явище «цвітіння» води). Це явище можемо підтвердити наявністю в пунктах спостереження специфічного запаху (прілий, гнилий, болотний) та кольору води (світло-жовтий, жовтий, землянистий). Відповідно до вищеописаної ситуації якість води потребувала додаткових досліджень на наявність біогенних речовин (наступний етап дослідження дисертаційної роботи).

Отже, під час досліджень встановлено, що вода р. Унава має переважаючий евтрофний трофічний статус із типом забруднення від «помірно забруднених» до «забруднених» вод (категорії В і С за модифікованим індексом Майєра).

Основні результати дослідження за цією оцінкою опубліковані в науковій статті [110].

3.4. Оцінка за індикаторною групою показників токсичності води

Індикаторна група токсичності води (рис. 2.3) дала змогу оцінити стан річки за головними показниками токсичності, такими як важкі метали, зокрема, концентрація вмісту свинцю, цинку, кадмію та міді у воді, які є канцерогенами для аквакультури. Ця група є важливою для більш повної оцінки стану річки, оскільки водні організми, що проживають у воді, досить активно реагують на вищезазначені концентрації важких металів [75, 123].

Оцінюючи якість води за показниками токсичності (важкі метали), можна сказати, що концентрації міді, цинку, свинцю, заліза, кадмію знаходяться в межах, що не перевищують гранично-допустимі їхні концентрації для водних організмів і перебувають межах оптимальних для водної екосистеми (рис. 3.2 (а-д)). У таблиці 3.7 наведені класи та категорії якості досліджуваної води з р. Унава, за якими воду р. Унава відносимо до 1 класу та 1 категорії якості води з градацією за станом її якості як «відмінна» та за ступенем забрудненості «дуже чиста».

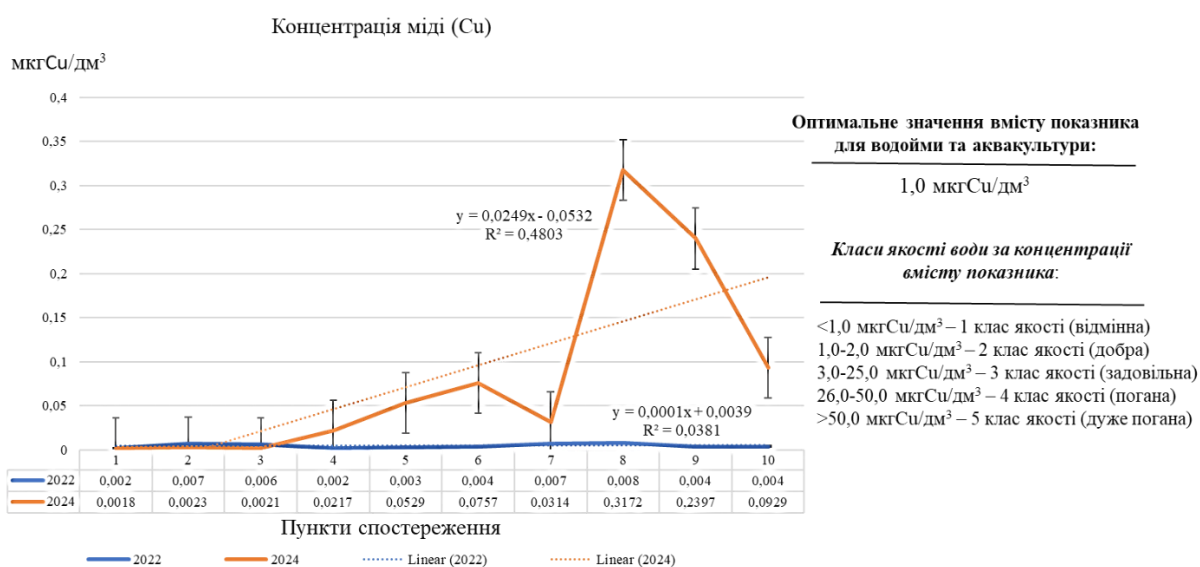


Рис. 3.2а Концентрація вмісту міді (n=3) в досліджуваній воді р. Унава, 2022 р. і 2024 р.

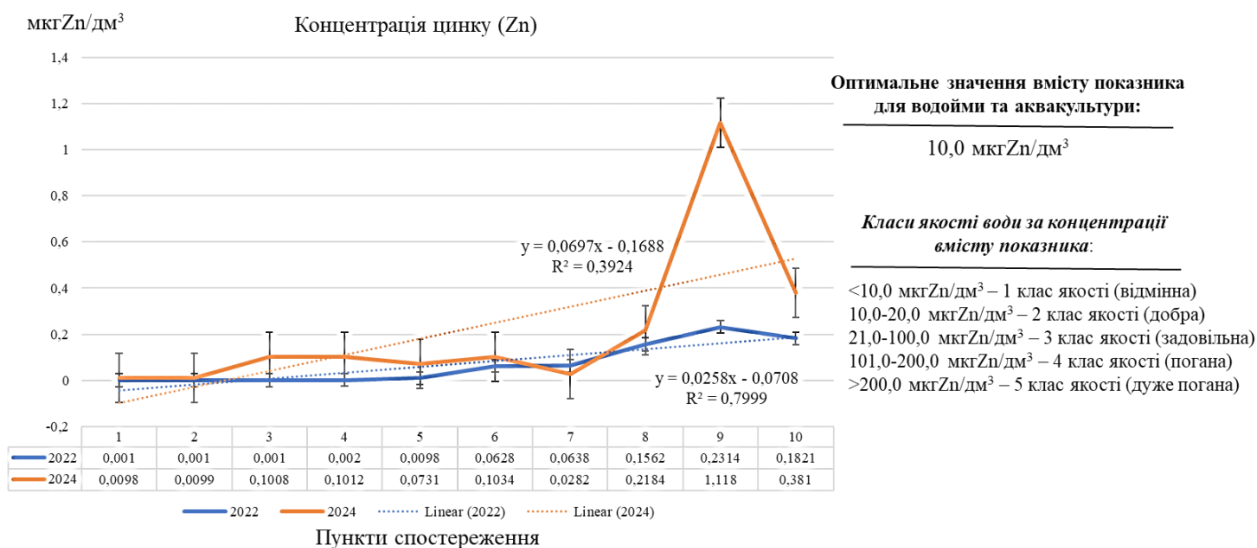


Рис. 3.2б Концентрація *вмісту цинку* (n=3) в досліджуваній воді р. Унава, 2022 р. і 2024 р.

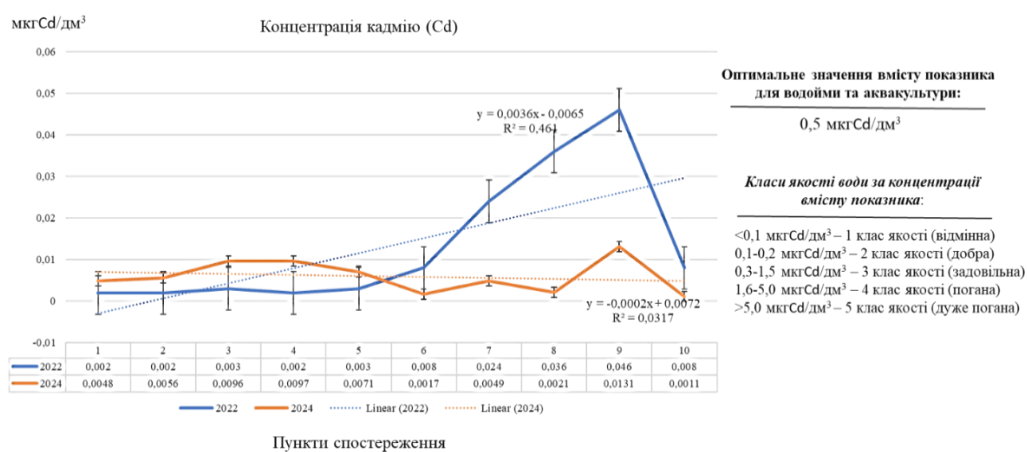


Рис. 3.2в Концентрація *вмісту кадмію* (n=3) в досліджуваній воді р. Унава, 2022 р. і 2024 р.

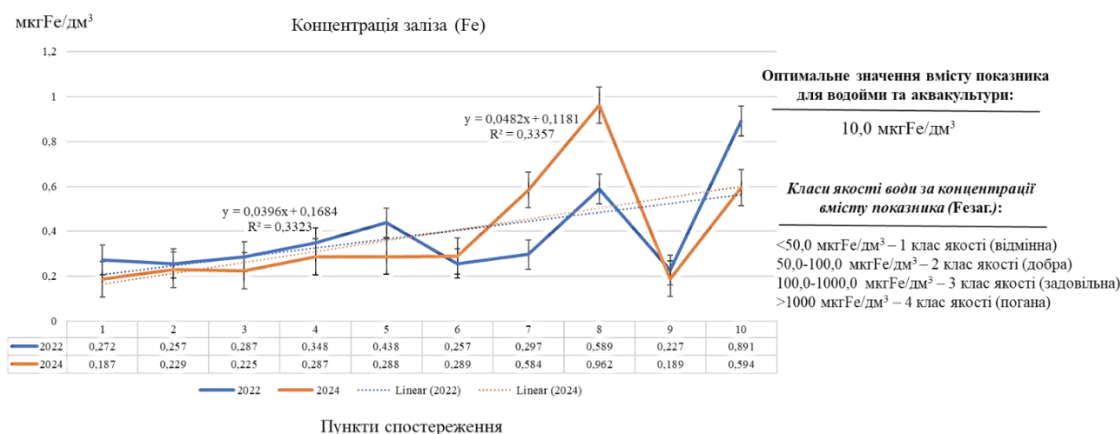


Рис. 3.2г Концентрація *вмісту заліза* (n=3) в досліджуваній воді р. Унава, 2022 р. і 2024 р.

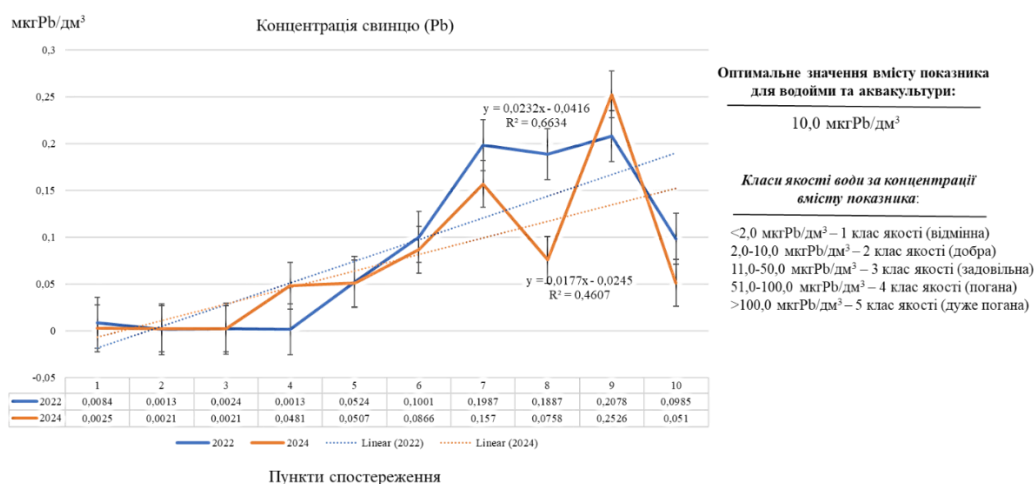


Рис. 3.2д Концентрація *вмісту свинцю* (n=3) в досліджуваній воді р. Унава, 2022 р. і 2024 р.

Отже, досліджувана вода за показниками важких металів є безпечною як для гідробіонтів, так і для іншої водної флори й фауни. Це свідчить про відсутність забруднення води важкими металами, що підтверджено нашими польовими дослідженнями: під час обстеження поблизу р. Унава ми не зафіксували промислових або інших точкових джерел, які могли б спричинити таке забруднення.

Таблиця 3.7.

Клас і категорія якості води за показниками токсичності води

Пункт спостереження	Показники за класами та категоріями якості									
	Уміст міді, мкгCu/дм ³		Уміст цинку, мкгZn/дм ³		Уміст свинцю, мкгPb/дм ³		Уміст кадмію, мкгCd/дм ³		Уміст заліза, мкгFe/дм ³	
	Клас (категорія)		Клас (категорія)		Клас (категорія)		Клас (категорія)		Клас (категорія)	
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
1	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
2	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
3	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
4	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
5	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
6	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
7	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
8	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
9	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)
10	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)

3.5. Оцінка за індикаторною групою показників біогенного забруднення води

Індикаторна група показників біогенного забруднення (рис. 2.3) дала нам можливість провести оцінку річки за відповідним типом забруднення. Це означає, що вода містить високі концентрації (вище нормативу або оптимального значення) показників таких поживних речовин, як уміст азоту амонійного, нітратного та нітритного, а також уміст фосфору у воді [30, 113].

Біогенне забруднення водойм є основним чинником посилення процесів евтрофікації річок [30, 33], індикатором наявності в ній різного роду водоростей [3]. Під час переходу від територіального до басейнового управління водними ресурсами України біогенне забруднення природних вод було визначене однією із ключових проблем, що погіршують якість водних ресурсів [111]. Такий вид забруднення вод досить суттєво впливає на процеси самовідновлення та саморегуляції води [26], якісний стан води, а також погіршує екологічний стан масивів поверхневих вод [113]. Основними

речовинами, які можуть спричинити біогенне забруднення води є сполуки фосфору (фосфат-іони) та мінерального азоту (йони амонію, нітрат-йони, нітрит-йони) [56]. Відповідно до Водної стратегії України на період до 2050 року [45] сполуки азоту й фосфору та інших забруднюючих речовин є основними складовими компонентами стаціонарного й дифузного забруднення поверхневих вод. Надходження цих речовин до водойм може відбуватися з точкових і дифузних джерел забруднення поверхневих вод [19, 31].

В Україні встановлено, що до 80 % фосфорного забруднення спричиняється точковими джерелами, зокрема скиданням неочищених або недостатньо очищених стічних вод у річки з житлово-комунального сектору та промислових об'єктів, а також наявністю вигрібних ям у приватних господарствах, які не підключені до централізованих систем водопостачання та водовідведення. Водночас до 80 % азотного забруднення поверхневих вод в Україні спричиняється дифузними джерелами, переважно внаслідок сільськогосподарської діяльності – зокрема, через водну та вітрову ерозію, спричинену розорюванням прибережних смуг, розміщенням оброблених полів поблизу річок, неконтрольованим зберіганням органічних добрив у фермерських господарствах, а також внесенням органічних і мінеральних добрив як основного або додаткового живлення для рослин. [115]. Усі вищеперераховані джерела забруднення чинять негативний вплив на якісний стан водної екосистеми, що так само призводить до біогенного забруднення річок, а в майбутньому – до активних процесів евтрофікації [42]. Доцільно контролювати якісний стан поверхневих вод для своєчасного виявлення ключових показників забруднення та зменшення їхнього негативного впливу на водні екосистеми. Kapsalis та Kalavrouziotis I. K. [16] зазначають, що проблема евтрофікації, що спричинена наявністю високих концентрацій поживних речовин у воді, є глобальною проблемою, яку варто висвітлювати у всіх стратегіях збереження річкових екосистем. Devlin M. та Brodie J. [8] досліджували надходження біогенних речовин у воді річок. Вони вважали, що

саме сполуки азоту та фосфору є основними біогенними речовинами, які надходять до поверхневих вод через дифузні (річкові скиди із втратами добрив із полів, наземні стічні води) та точкові джерела (скиди очисних споруд). Вони зазначали у своїх дослідженнях, що ці речовини несуть руйнівний характер для масивів поверхневих вод.

У дослідженнях Micella I., Kroeze C., Bak M. P., & Strokal M. [19] сільське господарство та урбанізація є двома головними джерелами забруднення масивів поверхневих вод поживними речовинами (азот, фосфор), хімічними речовинами, макро- та мікропластиком. Вони зазначають, що біогенні речовини (поживні) від сільського господарства часто потрапляють у річки через стік з удобрених полів і через стічні води очисних споруд.

Біогенне забруднення (або забруднення поживними речовинами) річок може призвести до активного «цвітіння» водоростей, які здатні істотно змінити фізико-хімічні параметри води, зумовити зниження насичення води киснем, збільшити каламутність і зменшити прозорість води. Саме тому, актуальним питанням було і залишається оцінювання якісного стану води на наявність біогенних речовин.

Водна екосистема р. Унава за останні десятиліття перетворилася на трансформовану гідроекосистему внаслідок інтенсивного господарського освоєння та урбанізації.

Наші дослідження були спрямовані на проведення оцінювання р. Унава (від витoku до гирла, що охоплює Київську та Житомирську області України) для визначення рівня забруднення річки біогенними речовинами й обґрунтування співвідношення фосфатів до нітратів зі встановленням лімітуючої речовини (стехіометричне співвідношення за калькулятором Редфільда) та прогнозованого переважаючого типу забруднення (азотне/фосфорне).

Оцінювання якісного стану води р. Унава для визначення рівня біогенного забруднення за показниками фосфат-йонів та мінерального азоту (йони амонію, нітрат-йони, нітрит-йони) здійснювали за співставленням

фактичних концентрацій біогенних речовин за результатами 2022 р. і 2024 р. із нормативними (оптимальними) значеннями цих показників для різних видів водокористування (табл. 2.4-2.5).

Оскільки р. Унава має водосховища, варто приймати до уваги оптимальні значення якісного стану води для риболовлі (рибогосподарського призначення) та рекреації (культурно-побутове та рекреаційне призначення). Також водосховище в м. Фастів знаходиться на р. Унава, що забезпечує місто водою. Саме тому варто також враховувати нормативні значення води і для питних та господарсько-побутових потреб. В умовах активних сільськогосподарської діяльності, розораності прибережних зон р. Унава перетворилася на маловодну річку з ділянками з мінімальною кількістю води. Для річки рибогосподарського призначення застосовували нормативні (оптимальні) значення показників для родини Карпові (Коропові), оскільки вони є найбільш розповсюдженими у водосховищах р. Унава.

Важливо розуміти шляхи надходження біогенних (поживних) речовин до річки. Йони-фосфору та азоту у водойму можуть надходити дощовими стоками через системи дощової каналізації, скидами стоків від комунально-господарських та промислових стічних вод [34]. Загалом концентрація поліутантів у дощових стоках залежить від періоду дощів: чим більше пройшло часу з моменту останнього дощу, тим більше пилу, сміття, та пов'язаних з ними забруднюючих речовин акумулюються на вулицях та тротуарах і під час дощу надходять до річки [29]. Уміст дощових вод біогенних солей азоту та фосфору становить відповідно 5-6 мг/дм³ та 0,7-1,2 мг/дм³. Побутові стоки мають близько 50 % азоту в амонійній формі, 30 % у складі органічних сполук та 20 % – у вигляді нітратів та нітритів [29, 30].

За результатами аналітичних досліджень на *вміст концентрації фосфат-іонів* у досліджуваній воді р. Унава встановлено, що їхня концентрація у 2022 році була меншою, аніж в досліджуваній воді 2024 року (рис. 3.3А, 3.3Б). Упродовж обох років проби води відбиралися в осінній період.

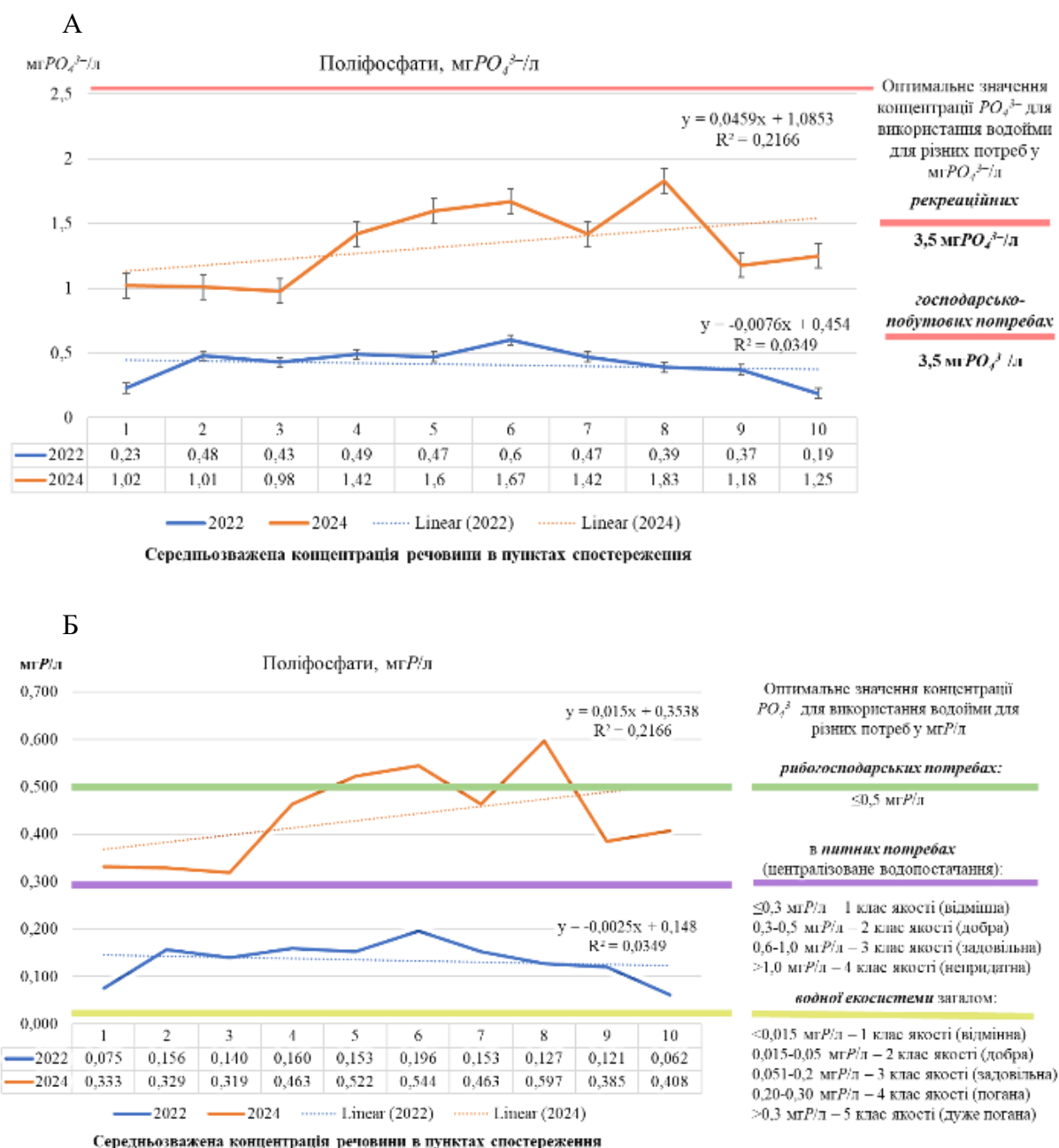


Рис. 3.3 Середньозважені концентрації *фосфат-іонів* за 2022 і 2024 роки ($n = 3$ у кожному пункті спостереження) у порівнянні з оптимальними значення концентрації PO_4^{3-} для використання: 3.3.A – рекреаційних і господарсько-побутових потреб (МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721 [60]); 3.3.B – рибогосподарських потреб (СОУ 05.01–37–385 : 2006 [105]), питних потреб (ДСТУ 4808 : 2007 [66]), водної екосистеми [83])

Варто зазначити, що переважно навесні й восени мулисті відкладення у водоймі можуть виділяти за добу в середньому 27 мг/м² амонію та 0,7 мг/м² фосфору [24].

Порівнюючи отримані концентрації фосфат-йонів у досліджуваній воді р. Унава з оптимальними значеннями для різних потреб використання можна виокремити, що *для рекреаційних та господарсько-побутових потреб* концентрація PO_4^{3-} у воді виявилася в межах норми (рис. 3.3А) у 2022 та 2024 роках.

Проте *для рибогосподарських потреб* (рис. 3.3Б) у 2024 році концентрація PO_4^{3-} у воді збільшилася від 15-35 % (залежно від пунктів) і відповідно в деяких пунктах спостереження концентрація PO_4^{3-} знаходиться за межами оптимальних значень (пункти спостережень №5-6, 8).

Оцінюючи воду р. Унава (*оцінка самої водойми*), концентрація PO_4^{3-} у всіх пунктах спостереження 2022 та 2024 роках знаходиться за оптимальними межами (фактична концентрація становить від 0,075 до 0,597 мгP/дм³). Це свідчить про те, що водна екосистема за методикою [83] відповідає 3 класу якості (2022 рік) – задовільна якість, та 4-5 класам якості (2024 рік) – погана та дуже погана якість води.

Для *питних цілей* – усі пункти спостереження в 2024 році мають концентрацію фосфат-йонів за межами норми порівняно із вмістом фосфат-йонів у 2022 році (рис. 3.3Б).

Таку ситуацію могли зумовити різні антропогенні чинники (точкові та дифузні джерела надходження) в басейні р. Унава, зокрема, надходження біогенних речовин дощовими водами разом із винесенням цих біогенних речовин із розорених сільськогосподарських ділянок (тип дифузного надходження), що розташовані буквально на березі річки, а також у пункті спостережень 8 важливим чинником є як стічні дощові води (дифузне надходження), так і стічні води від комунальних та господарсько-побутових господарств у районі м. Фастів (тип точкового надходження).

Ситуація за концентрацією у досліджуваній воді *нітрат-йонів* (рис. 3.4А, 3.4Б) є менш критичною, аніж із фосфат-йонами.

Вода р. Унава має оптимальні значення для рекреаційних (рис. 3.4А), господарського-побутових та питних потреб (рис. 3.4Б), а також для води рибогосподарського призначення (для родини корокових, рис. 3.4Б) із фактичною концентрацією у воді в 2022 році від 0,018 до 0,4 мгN/дм³, у 2024 році – 0,08-0,5 мгN/дм³.

Оцінюючи водну екосистему за методикою [83], вода в пунктах спостереження 3-7 (2022 рік) та 3-10 (2024 рік) містить завищені рівні концентрації нітрат-йонів, відповідно в середньому вода річки відноситься в 2022 році до 2 класу якості (добра), у 2024 році – до 3 класу (задовільна) якості води.

Спостерігається тенденція до збільшення концентрації нітрат-йонів у р. Унава залежно від пунктів спостереження. Тобто існує залежність, що від витоку річки (пункт 1) концентрація нітрат-йонів перебуває в оптимальних межах для всієї водної екосистеми та різних потреб водокористування (пункти спостереження 1-3) і збільшується до 7 пункту (с. Волиця) у 2022 році, та до 10 пункту (гирло річки). Ця ситуація є свідченням активної сільськогосподарської діяльності в басейні р. Унава саме в районах цих пунктів спостереження.

Також варто зазначити, що завищені рівні концентрації нітрат-йонів свідчать про забруднення, яке було спричинене в минулі роки або сезони.

Про азотне забруднення, що спричинене нещодавнім антропогенним чинником свідчать завищені рівні концентрацій нітрит-йонів та йонів амонію [30, 113, 114].

З огляду на результати аналітичних досліджень, бачимо, що фактична концентрація нітрит-йонів (NO_2^-) у досліджуваній воді за пунктами спостереження (рис. 3.5А) перебуває в оптимальних межах для рекреаційних та господарсько-побутових потреб (0,01-1,01 мг NO_2^- /дм³ за норми 3,3 мг NO_2^- /дм³).

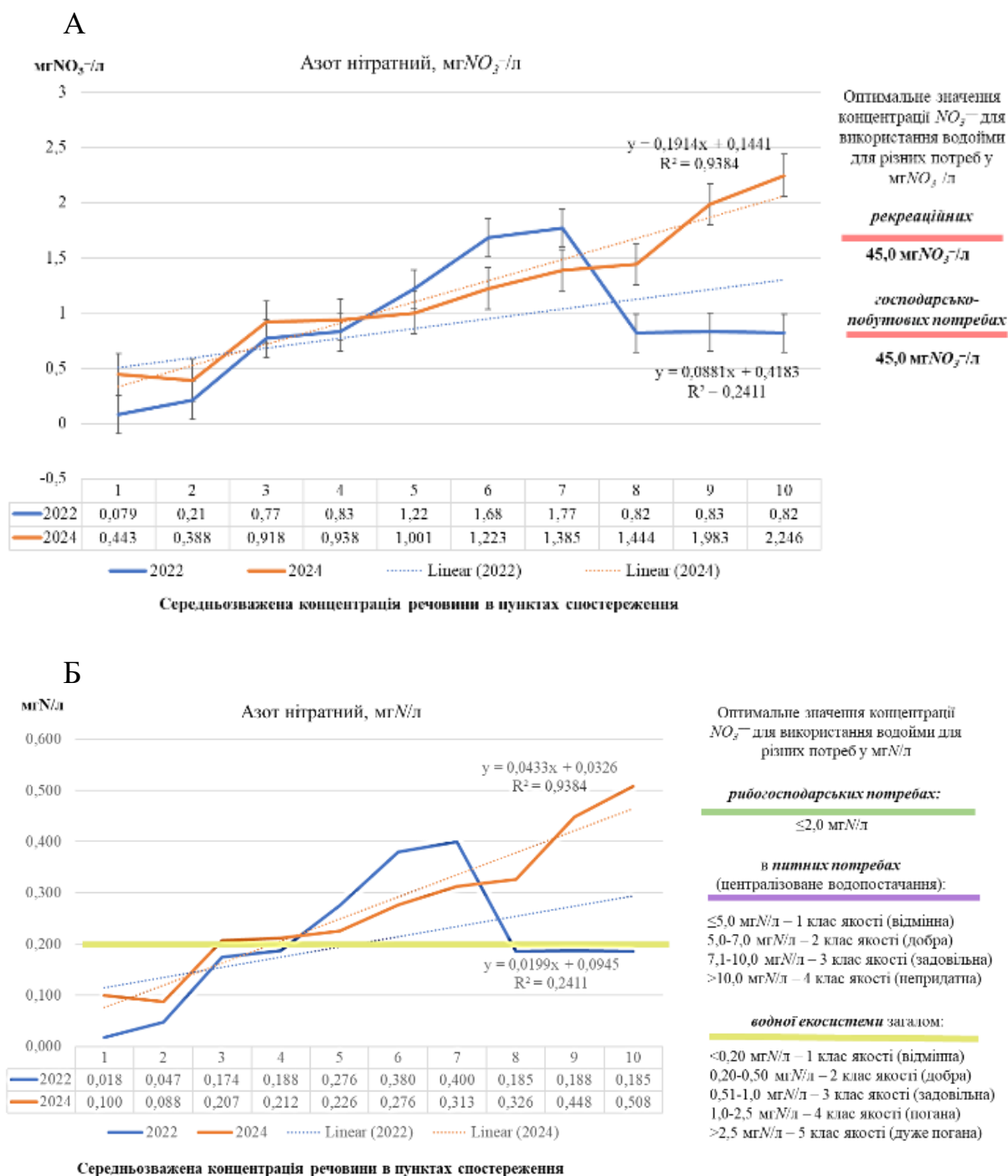
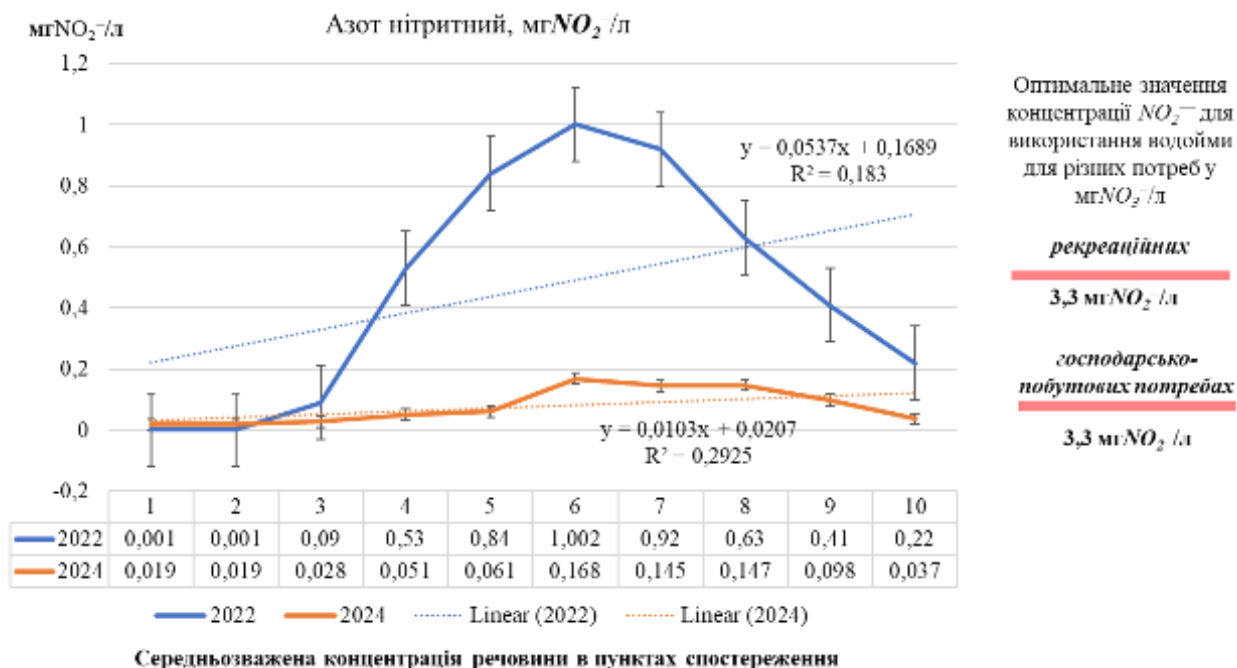


Рис. 3.4 Середньозважені концентрації нітрат-йонів за 2022 та 2024 роки (n = 3 у кожному пункті спостереження) у порівнянні з оптимальними значення концентрації NO₃⁻ для використання: 3.4А – рекреаційних і господарсько-побутових потреб (МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721 [60]); 3.4Б – рибогосподарських потреб (СОУ 05.01–37–385 : 2006 [105]), питних потреб (ДСТУ 4808 : 2007 [66]), водної екосистеми [83])

А



Б

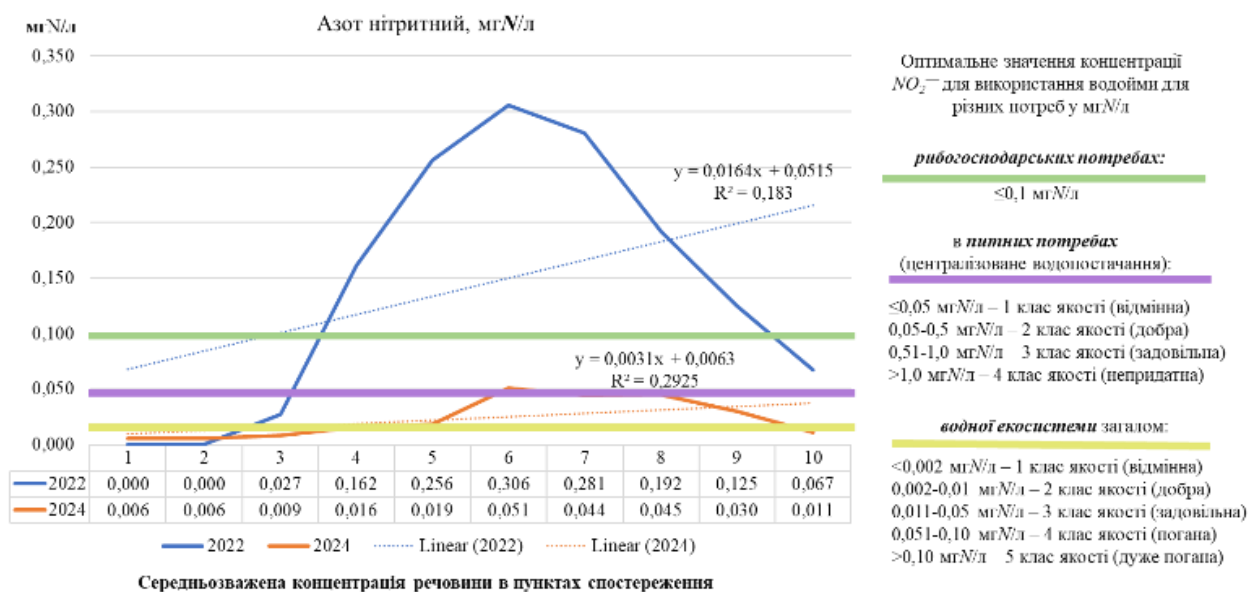


Рис. 3.5 Середньозважені концентрації нітрит-йонів за 2022 та 2024 роки ($n = 3$ у кожному пункті спостереження) у порівнянні з оптимальними значення концентрації NO_3^- для використання: 3.5А – рекреаційних і господарсько-побутових потреб (МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721 [60]); 3.5Б – рибогосподарських потреб (СОУ 05.01–37–385 : 2006 [105]), питних потреб (ДСТУ 4808 : 2007 [66]), водної екосистеми [83])

Для рибогосподарських потреб (рис. 3.5Б): в оптимальних межах за результатами 2024 року (0,06-0,051 мгN/дм³ за норми 0,1 мгN/дм³) та допустимих – за результатами 2022 року (0,001-0,306 за норми 0,1 мгN/дм³). Для питних потреб (рис. 3.5Б) якість води в досліджуваних пунктах спостереження відповідала 1 класу якості (2024 рік) та 2 класу якості (2022 рік). Якість води р. Унава за методикою [83] також оцінена за 2-3 класом якості (2024 рік), 4-5 класом якості (2022 рік). Спостерігається тенденція до зменшення фактичної концентрації нітрит-йонів (NO_2^-) у 2024 році порівняно з 2022 роком дослідження на 25-40 %. Варто враховувати, що на ці показники могли вплинути температурний режим (який у 2024 році був нижчим, а ніж у 2022 році під час відбору проб води) та наявність опадів.

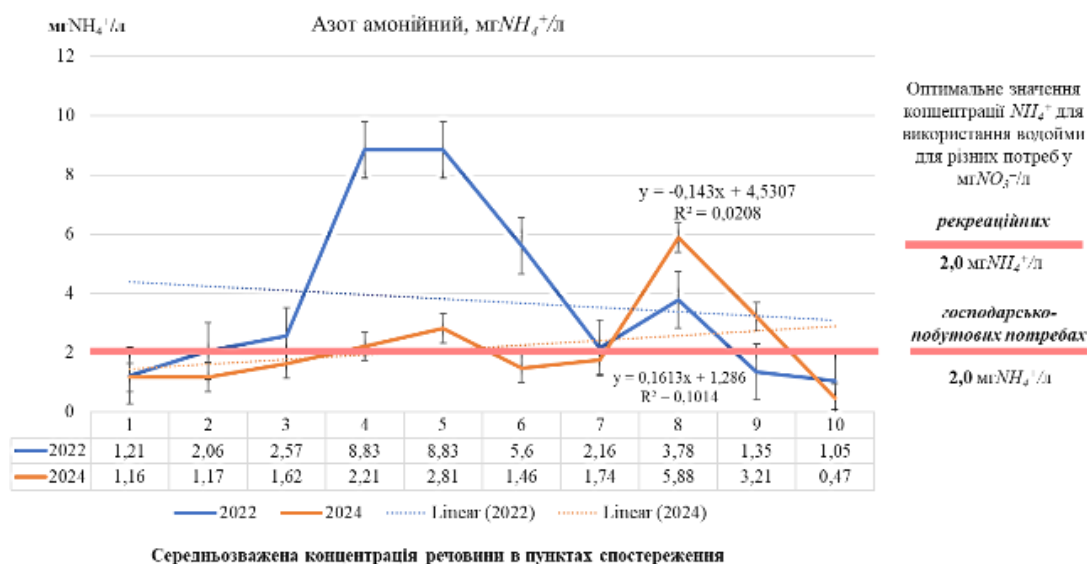
Концентрація азоту амонійного (NH_4^+) (рис. 3.6) у досліджуваних пробах води за 2022 та 2024 роки показала таку ситуацію:

- для рекреаційних та господарсько-побутових потреб (рис. 3.6А) р. Унава за концентрацією азоту амонійного в 2024 році має завищені показники щодо норми в пунктах 4-5, 8-9 (2,21-5,88 мг NH_4^+ /дм³ за норми 2,0 мг NH_4^+ /дм³), у 2022 році перевищення спостерігається в пунктах 2-8 (2,06-8,83 мг NH_4^+ /дм³ за норми 2,0 мг NH_4^+ /дм³). Концентрація цього показника в 2024 році є на 25–30 % нижчою, ніж у 2022 році. Для річок рибогосподарського призначення (рис. 3.6Б) р. Унава в усіх пунктах спостереження (окрім пункту 1 – витік річки) характеризується завищеними концентраціями азоту амонійного (NH_4^+), відповідно, це свідчить про наявність забруднення в момент забору проб води та створює несприятливі умови для розвитку аквакультури;

- для питних потреб (рис. 3.6Б) вода є обмежено придатною для споживання, оскільки концентрація показника знаходиться за межами першого класу якості, зокрема за 2024 рік становить 0,9-4,5 мгN/дм³, за 2022 рік – 0,9-6,8 мгN/дм³ за норми від 0,05 мгN/дм³, водночас непридатною вважається вода з концентрацією показника NH_4^+ у воді > 2,0 мгN/дм³;

– оцінюючи водну екосистему за цим показником (рис. 3.6Б), можна її охарактеризувати як таку, що відноситься до 4-5 класів якості (погана та дуже погана) за 2022 і 2024 роки дослідження.

А



Б

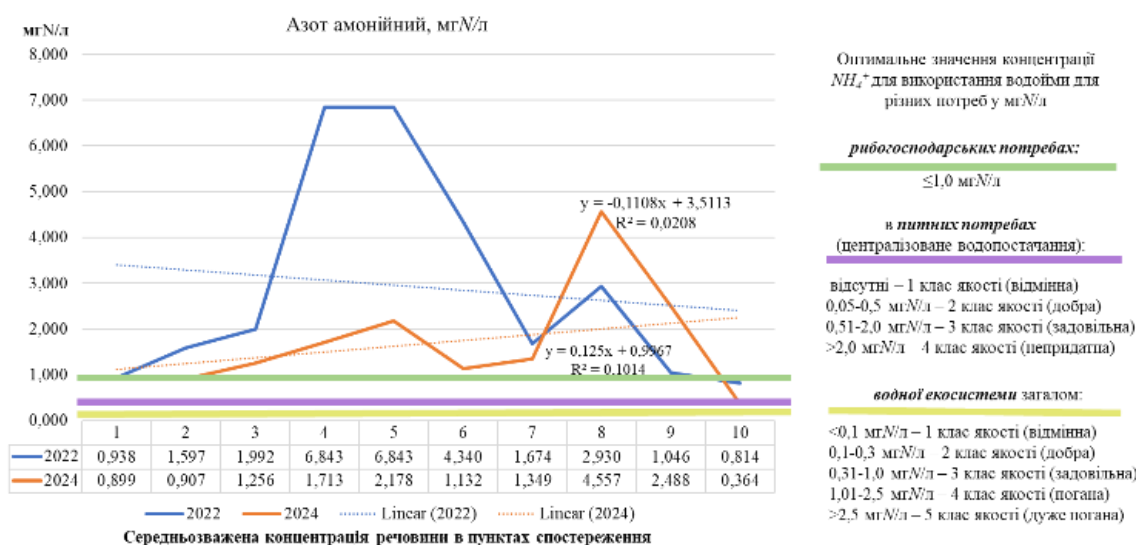


Рис. 3.6 Середньозважені концентрації азоту амонійного (NH₄⁺) за 2022 і 2024 роки (n = 3 у кожному пункті спостереження) у порівнянні з оптимальними значення концентрації NH₄⁺ для використання: 3.6А – рекреаційних та господарсько-побутових потреб (МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721 [60]); 3.6Б – рибогосподарських потреб (СОУ 05.01–37–385 : 2006 [105]), питних потреб (ДСТУ 4808 : 2007 [66]), водної екосистеми [83])

Отже, за результатами оцінювання, можна стверджувати, що найбільший вплив на водну екосистему мають такі біогенні речовини як концентрація нітрит-йонів та йони амонію. Наявність цих речовин є свідченням забруднення, яке відбувалося незадовго до періоду відбору проб води. Фосфорне навантаження за результатами дослідження спричиняє негативний вплив на якісний стан води в р. Унава, зокрема для водної екосистеми, тоді як його концентрація в досліджуваній воді є оптимальною для рекреаційних, господарсько-побутових, питних потреб.

Під час проведення досліджень 2024 року нами була встановлена кореляційна залежність між зміною метеорологічних показників (температуру води та повітря вимірювали в момент відбору проб води в пунктах спостереження) та біогенними речовинами (табл. 3.8-3.9). Це дало змогу нам підтвердити гіпотезу, що концентрація біогенних речовин суттєво залежить від температурного режиму.

Таблиця 3.8

Вихідні дані для розрахунку кореляційної залежності, 2024 р.

Показники / Пункти	Концентрація біогенних речовин у досліджуваній воді				t _{повітря} , °C	t _{води} , °C
	Фосфати, мгPO ₄ ³⁻ /дм ³	Азот амонійний, мгNH ₄ ⁺ /дм ³	Азот нітратний, мгNO ₃ ⁻ /дм ³	Азот нітритний, NO ₂ ⁻ /дм ³		
1	1,02	1,16	0,443	0,019	6,0	11,4
2	1,01	1,17	0,388	0,019	6,0	10,4
3	0,98	1,62	0,918	0,028	7,0	10,8
4	1,42	2,21	0,938	0,051	6,0	10,9
5	1,6	2,81	1,001	0,061	6,0	11,6
6	1,67	1,46	1,223	0,168	6,0	12,1
7	1,42	1,74	1,385	0,145	6,0	12,0
8	1,83	5,88	1,444	0,147	6,0	13,9
9	1,18	3,21	1,983	0,098	5,0	12,2
10	1,25	0,47	2,246	0,037	5,0	14,0

Кореляційну залежність між змінними за метеорологічними показниками (температура повітря та води в момент відбору проб води) та біогенними речовинами встановлювали за допомогою розрахунку коефіцієнта лінійної кореляції (r). За розрахунками встановлена негативна кореляція

(обернена) між температурою повітря та показниками фосфатів, азоту нітратного та азоту нітритного.

Таблиця 3.9

**Залежність біогенних речовин у воді від температури повітря та води,
2024 р.**

Показник	Коефіцієнт лінійної кореляції r		Обґрунтування
	$t_{\text{повітря}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{води}}, ^\circ\text{C}$	
Фосфати, $\text{мгPO}_4^{3-}/\text{дм}^3$	-0,07	0,52	За ознакою $t_{\text{води}}$ зв'язок середній; за ознакою $t_{\text{повітря}}$ — зворотній кореляційний зв'язок
Азот амонійний, $\text{мгNH}_4^+/\text{дм}^3$	0,01	0,38	За ознакою $t_{\text{води}}$ зв'язок слабкий; за ознакою $t_{\text{повітря}}$ — дуже слабкий зв'язок
Азот нітратний, $\text{мгNO}_3^-/\text{дм}^3$	-0,69	0,79	За ознакою $t_{\text{води}}$ зв'язок сильний; за ознакою $t_{\text{повітря}}$ — зворотній кореляційний зв'язок
Азот нітритний, $\text{NO}_2^-/\text{дм}^3$	-0,10	0,46	За ознакою $t_{\text{води}}$ зв'язок середній; за ознакою $t_{\text{повітря}}$ — зворотній кореляційний зв'язок

Кореляційну залежність між змінними за метеорологічними показниками (температура повітря та води в момент відбору проб води) та біогенними речовинами встановлювали за допомогою розрахунку коефіцієнта лінійної кореляції (r). За розрахунками встановлена негативна кореляція (обернена) між температурою повітря та показниками фосфатів, азоту нітратного та азоту нітритного.

Відповідно, позитивна кореляція виявлена між температурою води та всіма біогенними показниками. Зворотній (негативний) кореляційний зв'язок може бути причиною інтенсифікації різних мікробіологічних процесів під час підвищення температури або пониження. Прямий (позитивний) кореляційний зв'язок із температурою води є обґрунтованим, оскільки в разі підвищення температури води починають активізуватися мікробіологічні процеси у водоймі і, відповідно, вони можуть суттєво впливати на рівні концентрацій азоту та фосфору у воді. Особливо це ми бачимо за показником азоту

нітратного, за яким простежується сильний кореляційний зв'язок із температурою води (табл. 3.9).

На основі вище реалізованих завдань, нами було розраховане стехіометричне співвідношення Редфільда (RR) для річкової екосистеми р. Унава (рис. 3.7) для встановлення лімітуючої ознаки, яка демонструє переважаючий тип забруднення за мінеральним фосфором або за мінеральним азотом.

Відповідно до розрахованого RR можна сказати, що переважаючим типом забруднення в 2022 році було азоте. Оскільки RR у цей період склало від 29,42 до 108,64, це засвідчило, що лімітуючою біогенною речовиною були йони мінерального фосфору, а йони мінерального азоту знаходилися в надлишку, тобто переважаючим стало азотне забруднення водойми з можливим ростом зелених водоростей.

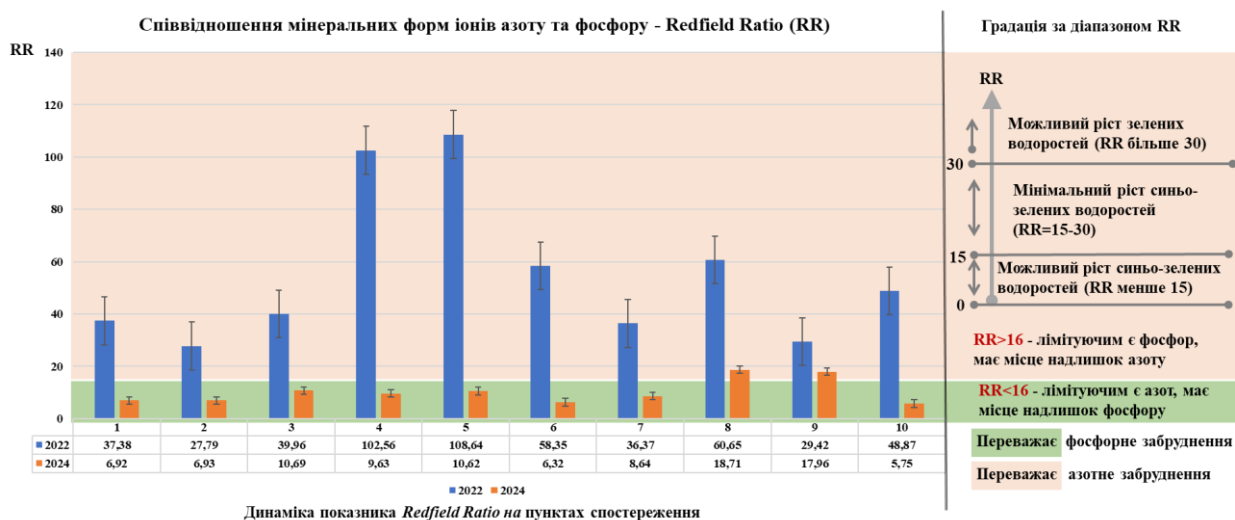


Рис. 3.7 Розрахунок стехіометричного співвідношення Редфільда ($Redfield\ Ratio - RR$) за формами іонів азоту й фосфору в р. Унава в динаміці за 2022 та 2024 роки

Результати за 2024 рік суттєво відрізняються, RR у цей період склало від 6,92 до 18,71, що дало можливість визначити лімітуючою ознакою мінеральний азот, а йони фосфору в цих умовах перебувають у надлишку і, відповідно, вони схильють до переважаючого фосфорного забруднення води.

За таких умов у річці можуть розвиватися синьо-зелені водорості. Підтвердженням цього є вищеописаний аналіз біогенних речовин. Зокрема, за оцінкою фосфат-йонів у досліджуваній воді в 2022 році річку відносимо до 3 класу якості (задовільна), у 2024 році – до 5 класу якості (дуже погана). Це означає, що концентрація фосфат-йонів збільшилася суттєво, порівняно з 2022 роком.

Отже, антропогенна евтрофікація р. Унава відбувалася активно й зараз ці процеси посилені. Біогенні речовини чинять вагомий внесок у посилення цих процесів. Свідченням цього стали показники біогенних речовин у досліджуваній воді за 2022 та 2024 роки спостережень.

Основні результати дослідження за цією оцінкою опубліковані у науковій статті [30].

3.6. Оцінка річки за індикатором водного дефіциту

Оцінювання річки за *індикатором водного дефіциту* (рис. 2.3) дав можливість визначити придатність річки, як середовища для нормального функціонування водних організмів (зокрема, для гідробіонтів), а також встановити прогноз появи водного дефіциту для річки за показниками кисневого балансу (біологічне споживання кисню, рівень розчиненого кисню у воді).

Визначення індикатора дефіциту води для різних видів водокористування набуває все більшої актуальності з огляду на зміну клімату та більшої потреби води для галузей народного господарства [37, 113, 114]. Зміна клімату призвела до осушення багатьох малих річок, деякі з них взагалі зникли [37]. Ще одним чинником, який впливає на дефіцит води є постійне збільшення розораності земель, особливо в прибережних зонах малих річок [113]. Не менш вагомим є чинник війни. Постійні військові дії спричиняють руйнування водної інфраструктури, що призводить до затоплень, а також до забруднення річок нафтопродуктами та різними канцерогенними речовинами, що є результатом вибухів та наявності військової техніки у воді [31]. Усі вище перераховані чинники суттєво впливають на доступність відповідної кількості якісної води, відповідно створюючи дефіцит води для певних галузей та питного водопостачання. Саме тому питання дефіциту води та його наукове обґрунтування є нині досить актуальним.

Доцільно зазначити, що показники якісного стану води для оцінювання індикатора водного дефіциту були обрані з урахуванням того, що р. Унава може використовуватися як водойма для риборозведення, оскільки на ній розташовані три водосховища, одне з яких у м. Фастів (Київська область). Відповідно, ключовими показниками якості води для риб є показники кисневого балансу води, зокрема, уміст розчиненого кисню та біохімічне споживання кисню [113, 114].

Для з'ясування ситуації щодо кисневого балансу води річки спочатку нами було проведене оцінювання р. Унава за такими показниками, як уміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню (БСК₅) за 2022 та 2024 роки дослідження.

Зокрема, показник розчиненого кисню у воді є індикатором, який відповідає за аеробні властивості риб та біологічну активність (фотосинтез) у воді, є важливим чинником для гідробіонтів, який підтримує метаболізм та розвиток водних організмів [113]. Біологічне споживання кисню (БСК₅) є показником кисневого балансу води, одним з індикаторів органічного забруднення води, показує кількість кисню в міліграмах, яка потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в одному літрі води. У науці вважається, що чим більший уміст БСК₅, тим більша кількість органічних речовин, які так само сприяють активності розмноження аеробних бактерій [114]. Саме тому нами враховані два вищезазначені показники для розрахунку індикатора водного дефіциту р. Унава.

Відповідно до проведених результатів аналітичних досліджень (рис. 3.8) встановлено, що концентрація розчиненого кисню за роками дослідження суттєво відрізняється.

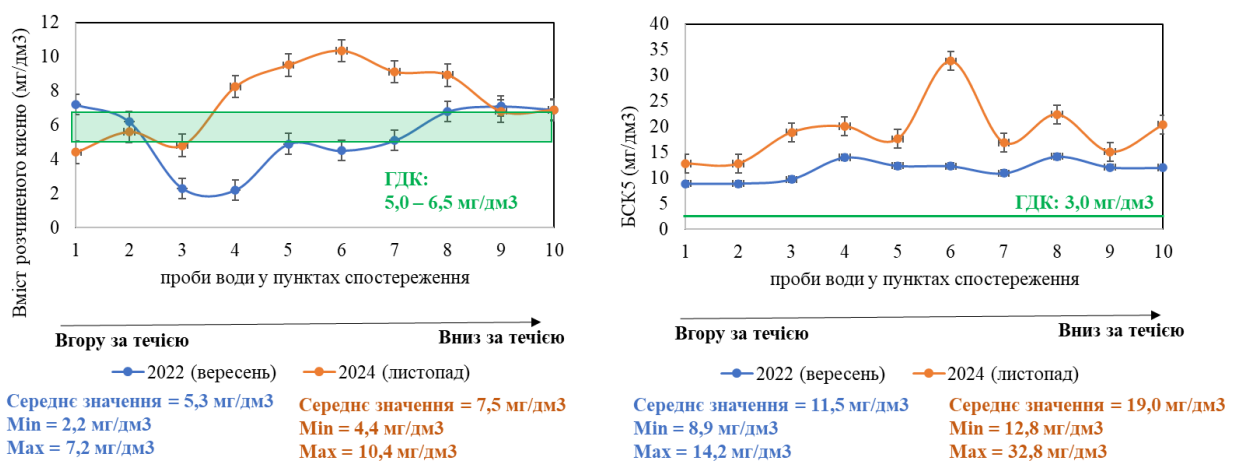


Рис. 3.8 Концентрація показників кисневого балансу в р. Унава

Нижчими значення були у 2022 році та вищими в 2024 році у пунктах 3-8. Аналогічну ситуацію спостерігали і за показником біологічного споживання кисню ($БСК_5$).

Варто зазначити, що оптимальні значення концентрації розчиненого кисню у воді для риб відрізняються залежно від їхнього виду. Зокрема прийнято, що для окуневих риб оптимальним значенням є вміст розчиненого кисню у воді на рівні $5,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, коропових видів та судаку – $5,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, товстолобика та щуки – можуть проживати за вмісту $1,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ [113, 114]. Якщо брати до уваги, що на р. Унава є три водосховища, два з яких розташовані від с. Квітневе до с. Кошляки (Житомирська обл., пункти спостереження 3-5), на яких знаходиться ставкове господарство «Попільна», одне – знаходиться в м. Фастів (Київська обл., пункт спостереження – 8), то варто зазначити, що риболовля є розповсюдженою сферою на цій річці. Найбільш поширеними видами риб в р. Унава є карась, окунь, плотва, короп, лящ. Частково (за свідченнями рибалок) також трапляється щука та судак.

Показник біологічного споживання кисню у воді ($БСК_5$) не повинен перевищувати його гранично допустиму концентрацію для нормального функціонування риб, яка становить не більше $3,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Як бачимо з діаграми (рис. 3.8) всі пункти спостереження не відповідають нормативному значенню і, відповідно, є загроза органічному забрудненню водойми р. Унава.

Саме тому варто враховувати вищенаведені показники кисневого балансу для розрахунків індексів водного дефіциту (WSq) річки за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, індексів водного дефіциту (WSq) річки за показником $БСК_5$ для всіх категорій риб.

Подальші завдання наших досліджень стосувалися питань визначення водного дефіциту води досліджуваної річки для риб як індикатора, що покаже чи достатньо придатна річка для нормального функціонування всіх видів риб (рівень водного дефіциту буде низьким – що відповідає низькому рівню водного стресу), чи непридатна (рівень водного дефіциту буде дуже високим – що відповідатиме дуже високому рівню водного стресу) [37].

Водний дефіцит розраховують за формулами 2.2 та 2.3 (розділ 2.2) відповідно до методики [37], що була удосконалена українськими вченими [113, 114].

Для оцінки індикатора водного дефіциту, зокрема для того щоб можна було провести розрахунок індексів водного дефіциту для риб за показниками кисневого балансу, нам потрібно знати об'єм води (Q , км³), а саме загальну кількість води в р. Унава. Із цим параметром виникли значні виклики, оскільки дані відсутні в науковій, нормативній літературі та вільно доступних офіційних джерелах, тому нами був використаний підхід для визначення загального об'єму води в річці, враховуючи власні польові дослідження за 2022 та 2024 роки (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Вихідні дані та розрахунок загальної кількості води (Q , км³) у р. Унава

Вихідні дані для розрахунку Q		
Середня ширина річки	км	0,16372 (164,0 м/1000), 1 км = 1000 м
Середня довжина річки	км	87
Площа річки (ширина * довжина)	км ²	14,244 (87 км*0,16 км)
Загальна кількість води у водному об'єкті (Q , км ³):		
площа * глибина	39,45588	10 ⁹ дм ³ (1 км ² * 1 м = 10 ⁹ дм ³)
дм ³	39454882800	39,45588 ⁹ дм ³
м ³	39454883	39454882800/1000
км ³	0,039	39454883/ ⁹ дм ³

Згідно з методиками [37, 114], загальне водоспоживання (D_j , км³) враховує те, що гідробіоти, зокрема риби, у середньому використовують близько 30 % від загального об'єму води у річці. Нами для обрахунку прийнято це значення i , відповідно, становить 0,01 км³ (30 % від 0,039 км³).

Фактичну концентрацію умісту розчиненого кисню у р. Унава (C_i , мгО₂/дм³) розраховали як середньоарифметичну концентрацію, що була визначена відповідно до років спостереження (рис. 3.8).

Додаткову кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для певних категорій риб ($dq_{i,j}$, км^3) розраховували відповідно до вище описаних умов, використовуючи формулу 2.3.

Усі вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту для конкретних видів риб за роками спостереження представлені в таблицях 3.11-3.12 та на графіку (рис. 3.9). Поділ на категорії риб базується на градації оптимальних значень показника вмісту розчиненого кисню у воді для цих видів риб [113, 114].

Таблиця 3.11.

Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, 2022 р.

Категорія риб	Величини для обрахунку					Водний дефіцит	Рівень водного дефіциту
	Q , км^3	D_j , км^3	C_i , $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	$C_{\text{max}i,j}$, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	$dq_{i,j}$, км^3	$WSq_{i,j}$	
Судак	0,039	0,01	5,3	5,0	0,0	0,30	середній
Окуневі	0,039	0,01	5,3	5,5	0,0072	0,48	високий
Коропові	0,039	0,01	5,3	5,0	0,0	0,30	середній
Товстолобик, щука	0,039	0,01	5,3	1,5	0,0	0,30	середній

Таблиця 3.12.

Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, 2024 р.

Категорія риб	Величини для обрахунку					Водний дефіцит	Рівень водного дефіциту
	Q , км^3	D_j , км^3	C_i , $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	$C_{\text{max}i,j}$, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	$dq_{i,j}$, км^3	$WSq_{i,j}$	
Судак	0,039	0,01	7,5	5,0	0,0	0,30	середній
Окуневі	0,039	0,01	7,5	5,5	0,0	0,30	середній
Коропові	0,039	0,01	7,5	5,0	0,0	0,30	середній
Товстолобик, щука	0,039	0,01	7,5	1,5	0,0	0,30	середній

Як бачимо з отриманих розрахунків, р. Унава в 2022 році мала водний дефіцит від середнього до високого рівня (для окуневих риб) ($WSq = 0,30-0,48$), у 2024 році – середній рівень з $WSq = 0,30$ для всіх категорій риби (рис. 3.9).

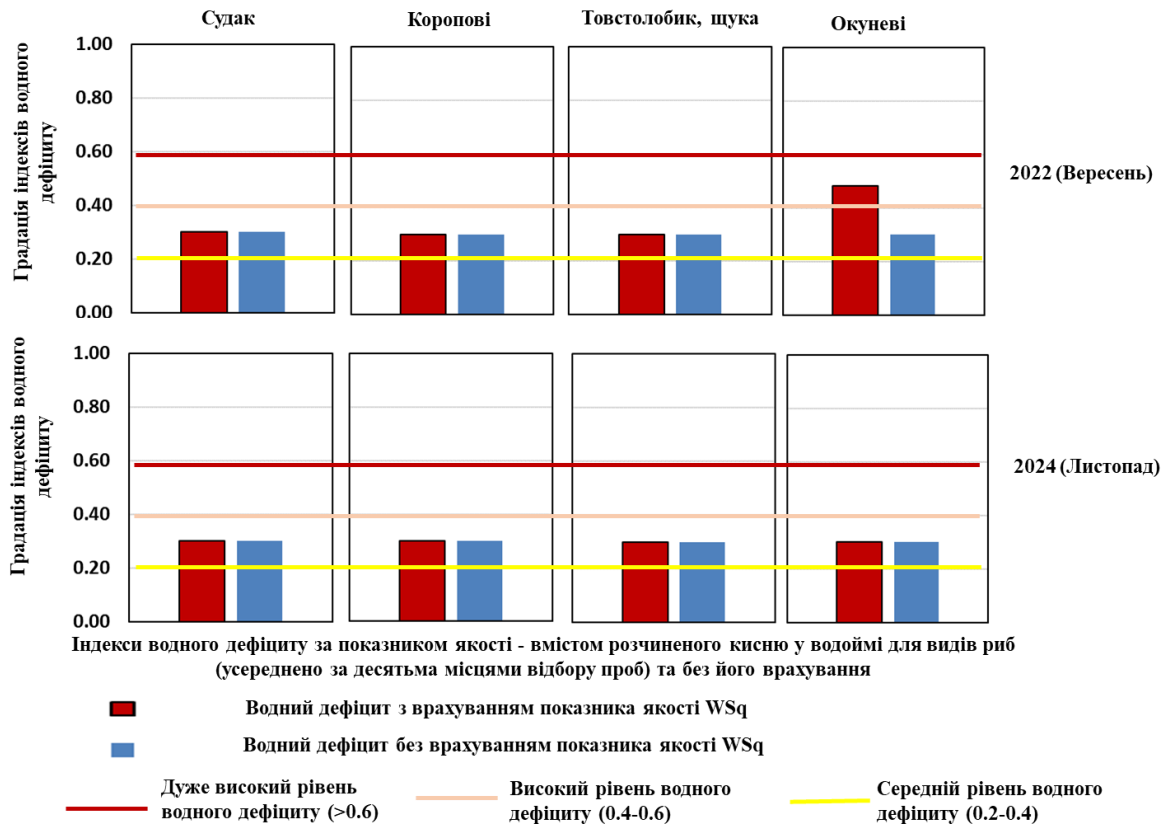


Рис. 3.9 Індекси водного дефіциту (WSq) водойми за показником розчиненого кисню (WSq – червоний колір стовпчика) та без його врахування (WSq – синій колір стовпчика) для конкретних видів риби, що найбільш розповсюджені у р. Унава (окунь, судак, товстолобик, щука, коропів види), у динаміці за 2022 та 2024 роки.

Показником якості, який був врахований для розрахунку водного дефіциту, була концентрація розчиненого кисню у воді річки. Оскільки концентрація цього показника у річці перебувала на рівні оптимальних значень для категорій риби, відповідно рівень водного дефіциту без врахування показника якості відповідав рівню водного дефіциту з врахуванням показника якості. Винятком є концентрація розчиненого кисню у річці за 2022 рік для

окуневих риб, оскільки оптимальним значенням для цих риб є $6,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, а дослідження показали вміст на рівні $5,3 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Чим нижче значення цього показника відповідно до нормативу, тим більший буде рівень водного дефіциту. Проте варто відмітити, що вищі дані вмісту розчиненого кисню у водоймі за 2024 рік можуть свідчити про різні мікробіологічні процеси у водоймі, оскільки під час відбору проб води були наявні виділення вуглекислого газу з води та процеси евтрофікації. Саме тому для більшого уточнення й достовірності отриманих висновків нами були розраховані індекси водного дефіциту за показником біологічного споживання кисню, який також є індикатором якості води для риб.

Останнім завданням досліджень було провести розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) за показником BCK_5 для всіх категорій риб і врахуванням динаміки зміни показника в 2022 та 2024 роках. У цих умовах показником якості води виступав такий параметр, як біологічне споживання кисню за 5 діб. Концентрація цього показника наведена на рисунку 3.8. Для розрахунку WSq використовували усереднені дані для всієї р. Унава. Зазначимо, що водний дефіцит за цим показником розраховується для всіх видів риб, оскільки гранично допустима концентрація кисню для наведених вище категорій риб є однаковою і становить $3,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ($C_{\max i,j}$, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$). Результати розрахунків наведені в таблиці 3.13 та на рисунку 3.10.

Таблиця 3.13.

Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) за показником BCK_5 для всіх видів риб

Категорія риб	Величини для обрахунку					Водний дефіцит	Рівень водного дефіциту
	Q , км^3	D_j , км^3	C_i , $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$	$C_{\max i,j}$, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$	$dq_{i,j}$, км^3	WSq_j	
2022	0,039	0,01	11,5	3,0	0,1123	3,15	середній
2024	0,039	0,01	19,0	3,0	0,2102	5,63	високий



Рис. 3.10 Індекси водного дефіциту (WSq) за показником $БСК_5$ (WSq – червоний колір стовпчика) та без його врахування (WSq – синій колір стовпчика) для риб, у динаміці за 2022 та 2024 роки.

Як бачимо з розрахунків, рівень водного дефіциту р. Унава із врахуванням показника якості (БСК₅) є високим як у дослідженнях 2022 року, так і у 2024 році ($WSq_{2022} = 3,15$, $WSq_{2024} = 5,63$). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту є низьким. Це свідчить про органічне забруднення річки, яке суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у р. Унава. Також з огляду на проведені розрахунки варто під час вивчення дефіциту води обов'язково враховувати показники якості води, оскільки вони є індикаторами певного виду забруднення та показують чи *достатню кількість якісної* води має річка для забезпечення потреб як народного господарства (зрошення, господарсько-питні цілі, рекреація), так самої водної екосистеми, щоб вона мала змогу до самоочищення.

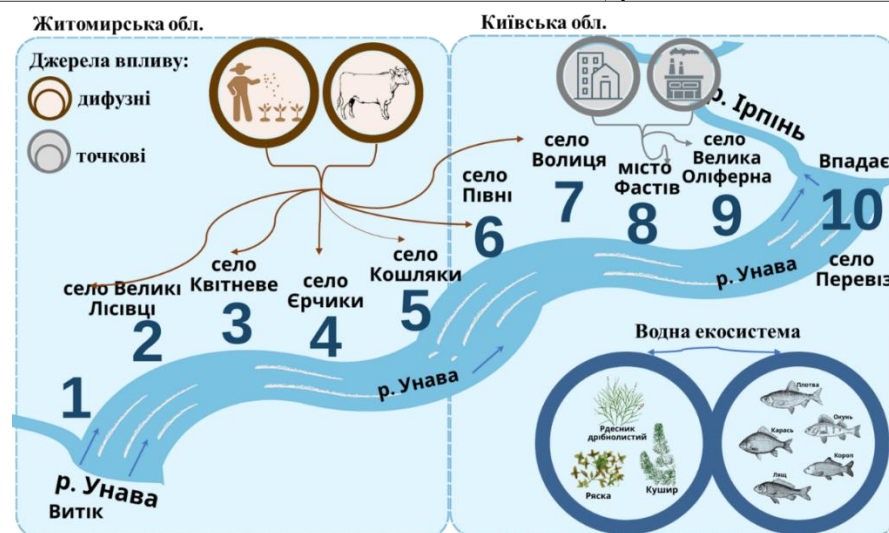
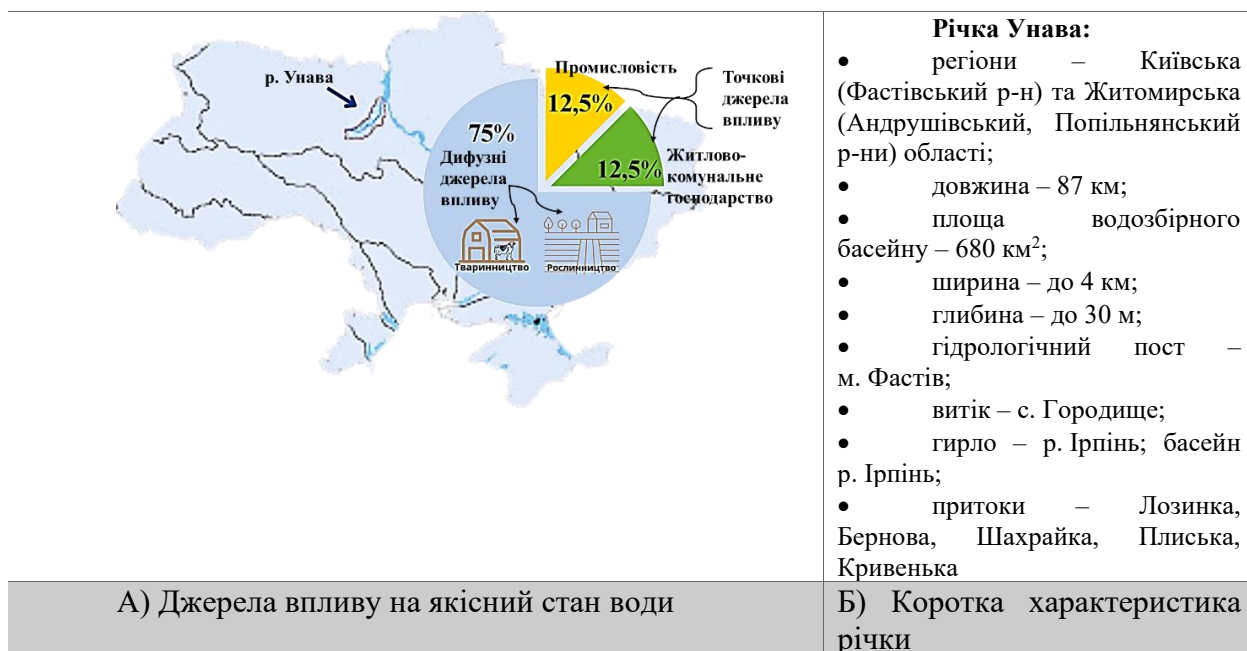
Основні результати дослідження за цією оцінкою опубліковані у науковій статті [109].

3.7. Аналіз прогнозованих ризиків погіршення якості води

Оцінка р. Унава за індикаторним підходом дали нам можливість оцінити прогнозовані ризики та виклики, які можуть спричинити погіршення якості води річки [110]. Зокрема, нами були досліджені прогнозовані типи точкових та дифузних джерел забруднення р. Унава (рис. 3.11).

Витік р. Унава (рис. 3.11В) починається із с. Городище (Андрушівський р-н Житомирської обл.) і має гирло в р. Ірпінь (південніше від с. Перевіз Київської обл.). Більшу частину басейну річки охоплюють розорані сільськогосподарські поля та приватні присадибні ділянки (до 75 %), що є дифузними джерелами забруднення річок. Житлово-комунальні господарства та підприємства, як індикатори точкового забруднення, знаходяться в районі м. Фастів та в його околицях, їхні стічні води можуть мати вплив на якісний стан води у водоймі безпосередньо в пунктах спостереження № 8-9 (рис. 3.11 А, В) [110].

Ще одним чинником впливу на якісний стан води є наявність розораних полів, які розташовані за 15-20 м від берегів річки. Наприклад, у пунктах відбору проб води № 1 (с. Городище), № 4 (с. Єрчики), № 5 (с. Кошляки), № 6 (с. Півні) розорані поля розташовані на відстані 10-25 м від берегів р. Унава, а приватні присадибні ділянки з приватним господарством – на відстані 50-100 м від берегів річки. У цих пунктах практично прибережної зони немає, оскільки вона розорана. Вплив приватного господарства візуально підтверджений тим, що худоба випасалася біля річки, спостерігали поверхневий стік і змив верхнього шару ґрунту від будинків до берегів річки. Варто зазначити, що сільськогосподарська діяльність є одним із основних дифузних джерел забруднення води р. Унава [110].



В) Пункти відбору проб води з річки та прогнозовані джерела впливу

Рис. 3.11 Характеристика р. Унава, пункти дослідження та прогнозовані джерела впливу на якісний стан води [110]

У процесі відбору проб води, візуального огляду досліджуваних ділянок та спілкування з рибакami, нами було визначено, що у водній екосистемі річки найбільше мешкають такі види риб як карась, короп, окунь, лящ та плотва. Також досліджувані ділянки були досить вкриті густою рослинністю, чагарниками та очеретом. Деякі ділянки водойми річки мали заболочений характер, зі значною кількістю рослинності, тоді як в окремих місцях вода була майже відсутня. У тих частинах, де вода все ж була присутня, її

прозорість залишалася мінімальною — від 8 до 17 см. Загалом р. Унава значною мірою обміліла, її береги заросли чагарниками, а прибережні смуги засмічені несанкціонованими відходами. Уздовж майже всього басейну річки розташовані розорані сільськогосподарські угіддя, тваринницькі ферми, а у водосховищах активно здійснюється риболовля. Також є суттєве замулення донної частини чаші водосховища в м. Фастів (пункт спостереження 8).

Під час зробленого синтезу теоретичних джерел (розділ 1), проведеного аналізу пунктів спостереження в польових умовах (розділ 2), здійсненої оцінки стану р. Унава за індикаторним підходом (розділи 3.1-3.6) розроблена схема викликів і ризиків (рис. 3.12), що можуть спричинити погіршення якості води та втрату природних оселищ й біорізноманіття, наведені у схемі причини, що призвели до цих викликів та запропоновані заходи для мінімізації (або подолання) впливу прогнозованих ризиків на стан русла річки та якість води в ній.

Варто зазначити, що в 2020 році мешканці м. Фастів зверталися до міського голови Фастівської міської ради Київської області з проханням визначити долину р. Унава зоною екологічного лиха (петиція № НОО.1495.8 від 16.07.2020 р.). Проте отримали відповідь від міського голови про відсутність підстав для такого рішення. Мешканці м. Фастів висловлювали занепокоєння через різке обміління річки, яка поступово перетворюється на болото. Вони зауважували, що з кожним роком річка дедалі більше заростає очеретом і водоростями. У рамках Програми Комплексного відновлення території Київської області на 2023-2027 рр., затверджена Рішенням Київської обласної ради від 17 жовтня 2023 року №726-21-VIII, була розроблена Стратегія розвитку Київської області на 2021 – 2027 рр., затверджена Рішення Київської обласної ради від 19.12.2019 №789-32-VII. У рамках цієї стратегії в 2023 році був розроблений проєкт «Очищення русла, відновлення і підтримання гідрологічного режиму та санітарного стану річки Унава» (ідентифікатор проєкту DREAM-UA-041223-9528D395), мета якого стосувалася відновлення природного русла річки Унава шляхом ліквідації

несанкціонованих перешкод, розчищення русел від замулення, покращення гідробіологічного режиму та оздоровлення річки, а також створення сприятливих умов для існування флори, фауни, іхтіофауни, біорізноманіття. Цей проєкт наразі перебуває на етапі реалізації, однак жодних ознак фактичного виконання не спостерігається.

Виклики та ризики	Причини	Потреба
Економічні виклики: Відсутність води для зрошення Зниження функціональності водосховищ для риборозведення	- Відсутність програм відновлення, оцінювання та прогнозу якості водойми. - Відсутність регуляторних нормативних документів щодо управління басейном р. Унава на регіональному та місцевому рівнях (маршрутів, програм, концепцій). - Відсутність контролю за виловом риб.	- Розробка програм, концепцій та підходів до оцінювання та відновлення річкової системи для різних видів водокористування. - Впровадження новітніх методів оцінювання (індикаторний підхід).
Екологічні виклики: Зарегульованість русла водойми та відсутність заплав в більшості ділянок водойми Висока розораність прибережних територій водойми та її заплав	- Відсутність контролюючих процедур за розораністю сільськогосподарських полів, прибережних територій та будівництвом приватних присадибних ділянок. - Втрата місць міграції флори та фауни, в тому числі біорізноманіття. - Забруднення водойми біогенними речовинами.	- Розробка заходів для регулювання рівня води щодо запобігання повеней та ерозійних процесів, що у свою чергу сприятимуть регулюванню процесів самоочищення водойми. - Створення заходів для очищення русла річки від замулення.
Соціальні виклики: Низький рівень знань у місцевого населення Низький рівень знань у місцевої влади з впровадження заходів збереження та очищення	- Відсутність контролюючих процедур за розораністю сільськогосподарських полів, прибережних територій та будівництвом приватних присадибних ділянок. - Втрата місць міграції флори та фауни, в тому числі біорізноманіття.	- Розробка програм навчання місцевості. - Створення природних оселищ для флори й фауни з метою збереження біорізноманіття. - Створення екологічних зон для екотуризму з метою підвищення обізнаності населення.

Рис. 3.12 Прогнозовані виклики та ризики погіршення якості води та русла р. Унава

Основні результати цього розділу опубліковані у науковій статті [110].

Висновки до розділу 3

Під час проведення аналітичного дослідження за оцінкою стану р. Унава, враховуючи індикаторний підхід, встановлено, що загальний гідрологічний стан води (*індикаторна група гідрологічних показників*) характеризує сольовий склад р. Унава. Встановлено, що р. Унава за катіонним складом належить до прісних вод гідрокарбонатного класу групи кальцію ($\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$) за величиною мінералізації – гіппогалинні 1 типу; за аніонним складом відповідає I класу та 1 категорії якості води за сульфатами та загальним умістом солей у 2024 році дослідження, а також відповідає II (2024 р.) та III (2022 р.) класу якості зі ступенем забрудненості від «слабко забруднені» у 2022 році до «досить чисті» у 2024 році дослідження.

Оцінюючи річку за *індикаторною групою показників сапробності* водного середовища (прозорість води, процентне насичення води киснем, уміст біологічного споживання кисню за 5 діб) дав можливість нам визначити, що водойма належить до «брудної» води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних.

За результатами візуального обстеження надводного ярусу річки та прибережної території р. Унава на наявність макрофітів-індикаторів (*індикаторна група біологічних показників*), можна сказати, що річка за трофічним статусом належить до мезотрофної, мезоевтрофної та евтрофної, а за типом забруднення – від помірно забрудненої до забрудненої.

Оцінюючи річку за *індикаторною групою токсичності* (концентрація важких металів у воді), воду віднесено до I класу та 1 категорії якості води, що засвідчила відсутність забруднення такими важкими металами, як мідь, цинк, свинець, кадмій та залізо.

Під час дослідження за *індикаторною групою показників біогенного забруднення* з'ясовано, що концентрація біогенних речовин у воді р. Унава (поживних речовин) впливає на якісний стан води річки залежно від потреб її використання та функціонування гідробіонтів (водна екосистема). Зокрема, концентрація азоту нітритного ($0,006\text{--}0,306 \text{ мгN/дм}^3$ за 2022 рік, $0,006\text{--}$

0,051 мгN/дм³ за 2024 рік, оцінюючи від 3 до 5 класів якості) у воді є критичною для водної екосистеми; азоту амонійного – для рекреаційних, господарсько-побутових потреб (1,21-1,83 мгNH₄⁺/дм³ за 2022 рік, 1,16-5,88 мгNH₄⁺/дм³ за 2024 рік за норми 2,0 мгNH₄⁺/дм³) для питних цілей і водної екосистеми загалом (0,814-6,84 мгN/дм³ за 2022 рік, 0,364-4,56 мгN/дм³ за 2024 рік, оцінюючі річку за 3 та 4 класом якості для питних потреб, 4-5 класом якості – для водної екосистеми); фосфору – водної екосистеми (0,062-0,196 мгP/дм³ за 2022 рік, 0,333-0,597 мгP/дм³ за 2024 рік, оцінюючи річку за 2-3 класом якості у 2022 році та 5 класом якості у 2024 році).

За розрахунками ступеня кореляційного зв'язку між ознаками біогенних речовин та температурою повітря й води встановлено негативну кореляцію (обернену) між температурою повітря та показниками фосфатів ($r = -0,07$), азоту нітратного ($r = -0,69$) та азоту нітритного ($r = -0,10$). Відповідно, позитивну кореляцію виявлено між температурою води та мінеральним азотом ($rNH_4^+ = 0,38$; $rNO_3^- = 0,79$; $rNO_2^- = 0,46$) і фосфором ($rPO_4^{3-} = 0,52$).

За проведеними розрахунками співвідношення Редфільда (*Redfield Ratio* – *RR*) визначено, що у 2022 році досліджень ($RR = 29,42-108,64$) лімітуючою біогенною речовиною були іони мінерального фосфору, а йони мінерального азоту знаходилися в надлишку, тобто переважаючим було азотне забруднення водойми з можливим ростом зелених водоростей. У 2024 році ($RR = 6,32-18,71$) лімітуючою ознакою були йони мінерального азоту, а йони фосфору в цих умовах перебували в надлишку, тобто переважаючим був тип фосфорного забруднення води з можливим розвитком синьо-зелених водоростей.

Оцінку річки за індикатором водного дефіциту проводили з врахуванням показників кисневого балансу води (уміст розчиненого кисню (мгO₂/дм³) та біологічного споживання кисню – БСК₅(мгO₂/дм³)), які є основними індикаторами води для нормального функціонування водних організмів. Встановлено, що концентрація розчиненого кисню у воді р. Унава становила від 2,2 до 7,2 мгO₂/дм³ у 2022 році, та від 4,4 до 10,4 мгO₂/дм³ у 2024 році, за оптимальної величини для гідробіонтів (риб) не менше 5,0 мгO₂/дм³.

Уміст БСК₅ у досліджуваній воді в 2022 році складав 8,9-14,2 мгО₂/дм³, у 2024 році – 12,8-32,8 мгО₂/дм³ за оптимальної величини для водних організмів не більше 3,0 мгО₂/дм³.

Із врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховані індекси водного дефіциту річки для певних категорій риби: для окуневих $WSq_{2022} = 0,48$ (високий рівень водного дефіциту) та $WSq_{2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту); для коропових, судака, товстолобика, щуки – індекс водного дефіциту становив $WSq_{2022/2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту). За розрахованим індексом водного дефіциту з врахуванням показника якості води БСК₅ встановлено, що рівень водного дефіциту є високим ($WSq_{2022} = 3,15$, $WSq_{2024} = 5,63$).

Підсумовуючи результати оцінки стану р. Унава за індикаторними групами показників якісного стану води, сформована схема основних ризиків та викликів, які передують погіршенню якості води у річці та створюють загрозу для втрати водної флори й фауни. До економічних ризиків увійшли: відсутність води для зрошення, попри те, що річка має водосховища і поля потребують додаткової води; зниження функціональності водосховищ для риборозведення, оскільки вони є замуленими, якість води за кисневими показниками є непридатною для розведення риби. Екологічні ризики зумовлені насамперед наявністю високої розораності прибережних територій та русла річки, а також засміченням та зарегульованістю заплав та русла річки, що негативно впливає на міграційні шляхи флори й фауни, створює загрозу зникнення рідкісних видів біорізноманіття. Соціальні ризики спричинені низьким рівнем володіння екологічними знаннями місцевої громади та недостатнім рівнем знань у місцевої влади щодо впровадження новітніх технологій оцінки, збереження та очищення річки.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМА ВІДНОВЛЕННЯ Р. УНАВА

4.1. Схема впровадження заходів з відновлення

Розробка програм відновлення річок є важливим етап у системі інтегральної оцінки водних ресурсів України, особливо для відновлення малих річок України, які є водними артеріями для забезпечення середніх та великих річок. Саме тому науковці приділяють значну увагу для розробки різних програм, враховуючи системні та комплексні підходи.

Рибалова О. В. (2010 р.) пропонувала використовувати комплексний підхід до оцінювання басейнів малих річок, який включає реструктуризацію господарського використання водозбірної площі на основі розрахунку оптимальних показників лісистості, розораності та залуженості дозволить змінити спрямованість розвитку процесів у бік їхньої стабілізації [99].

Науковцями М. В. Злочевський, Г. М. Петрук, М. О. Клименко, В. В. Древецький (2010 р.) у праці [69] були представлені підходи до відновлення водних екосистем малих річок, зокрема запропонований концептуальний підхід до створення комплексної Програми відновлення порушених водних екосистем малих річок України на період 2011-2015 роки, яка була спрямована на розв'язання проблем, пов'язаних із зростанням антропогенного навантаження на них.

Комплексну оцінку якості води малих річок на прикладі лівих приток річки Рось запропонували вчені М. В. Басов, Л. В. Сиса (2015 р.) [49]. Оцінка включала комплекс критеріїв гідрохімічних та гідробіологічних досліджень, результати яких представили у вигляді комплексного екологічного критерію, який дав змогу оцінити екологічний стан малих річок.

Совгіра С. В., Гончаренко Г.Є., Гончаренко В.Г., Берчак В.С. (2016 р.) у своїй монографії [103] запропонували етапи та методики польових досліджень оцінки екологічного стану малих річок. Зокрема запропонували використовувати басейнових та системний підходи для дослідження

ландшафтних комплексів малих річок, як цілісної системи взаємопов'язаних структурних елементів річкової долини (річище, заплава, надзаплавні тераси, схили). До організаційних засад охорони малих річок віднесли захист малих річок на основі фітотехнологій, створення та резервування заповідних територій.

Дмитренко Т. В., Вергелес Ю. І. (2016 р.) досліджували проблеми деградації малих річок. Вони у праці [64] зазначали, що ефективним заходом з відновлення малих річок є використання комплексних заходів до їх охорони на рівні цілого водозбірного басейну. Одним із цих заходів пропонували використовувати комплекс фітотехнологій.

За авторством В. П. Мельничук, Г. П. Проців (2019 р.) [85] опублікована настанова з управління басейнами малих річок, зокрема приток річки Дністер. Автори звертають увагу, що варто враховувати інтегральний підхід до оцінювання малих річок, що є основою управління на водозборах малих річок.

Вченими Ю. Наконечна та С. Мельничук (2023 р.) у праці [84] були обґрунтовані методологічні проблеми оцінювання малих річок, які зумовлені передусім специфікою об'єкта, обмеженим обсягом ретроспективних матеріалів, відсутністю методичних рекомендацій щодо роботи з малими річками. Ними було зазначено, що ефективність дослідження малих річок залежить від розроблених програм відновлення та охорони з використанням системного та комплексного підходів, які мають враховувати як специфіку самого водного об'єкта, так і його геоморфологічні та гідрологічні умови.

Вченими С. М. Юрасов, С. О. Кур'янова, М. С. Юрасов (2009 р.) у науковій праці [133] виконаний аналіз комплексної оцінки якості води р. Південний Буг за різними методиками та запропоновано власні підходи до оцінювання екологічного стану водойми з врахуванням ефекту сумарної дії показників.

Виходячи з вище наведеного аналізу, можна сказати що проблема оцінки екологічного стану малих річок залишається досить актуальною і питання розробки програм відновлення їх стану носить системний характер.

Басейн р. Унава потребує розробки заходів з відновлення як самого басейну, так і русла із заплавами. Оцінка стану водойми річки показала (розділ 3), що водойма (а) є замуленою, без дотримання санітарно-захисних зон; (б) берега водойми розорані, приватні присадибні господарства розташовані за 10-25 м від самої водойми; (в) якість води відповідає градації оцінки від «помірно забрудненої» до «забрудненої» за індикаторною групою показників сапробності водного середовища та біогенного забруднення води. Вищенаведені чинники є головними причинами для відновлення річки, оскільки в майбутньому вона може взагалі зникнути, а малі річки є джерелами екосистемних послуг (розділ 1.6) та виконують роль «кровоносної системи природи».

Відновлення (або ревіталізація) річки – це діяльність, яка підтримує відновлення природного стану річкової системи та природних процесів у ній. До цієї діяльності також належить ренатуралізація – процес відновлення природного стану річки та її функціонування для збереження біорізноманіття, розвитку рекреаційного потенціалу, запобігання повеням і формування природного ландшафту. Ренатуралізація річок має велику кількість переваг, включно з поліпшенням якості води, пом'якшенням наслідків повеней, рекреацію та благоустроєм місцевості, збереженням флори й фауни.

Нами розроблено програму для відновлення р. Унава (рис. 4.1), яка включає схему впровадження заходів з відновлення річкової системи та пропозиції з оцінювання стану річки на основі індикаторного підходу. Програма має комплексний підхід, оскільки включає як заходи для відновлення малих річок (з врахуванням природоорієнтованих рішень), так і методологічні пропозиції для подальшого оцінювання екологічного стану малих річок. Методологічні пропозиції базуються на індикаторному підході, який дає змогу оцінити стан річки за типом забруднення.



Рис. 4.1 Схема з впровадження заходів з метою відновлення річкової системи та забезпечення стабільного екологічного стану річки

Схема передбачає виконання основних п'ять етапів.

Перший етап передбачає поліпшення гідроморфологічного стану (мережі) р. Унава, що спрямоване на відновлення течії річки, збереження біорізноманіття (водної флори й фауни), пом'якшення наслідків від посух та повеней. Цей етап включає реалізацію таких рішень:

1. Розчищення русел річки від захаращення сміттям, поваленими деревами, вичищення надлишкової рослинності (бажано виконувати щороку, особливо після повеней).
2. Розчищення надмірно замуленого русла річки з вийманням мулу (потребує додаткових витрат на розробку проєктної документації).
3. Оптимізація зрегульованих водотоків, що передбачає проведення інвентаризації гідрологічних споруд на річці з визначенням їхніх власників та законності.
4. Створення водно-болотних угідь, що сприятимуть зменшенню впливу забрудненості, пом'якшенню наслідків посух та повеней, поповненню ґрунтових вод.

Другий етап схеми включає заходи з усунення різних бар'єрів, які сприятимуть покращенню екологічного стану річки та відновленню її течії. До основних заходів відносимо виявлення та ліквідацію (а) несанкціонованих скидів забруднюючих вод від приватних прибудинкових господарств, (б) несанкціонованих сміттєзвалищ вздовж річки, (в) фізичних та штучних бар'єрів, що мають вплив на течію річки та саму водну екосистему. Цей етап передбачає виїзді експедиції з виявлення різних бар'єрів та їхнього усунення. Також важливим аспектом тут є налагодження комунікації між місцевим населенням та місцевою владою для роз'яснення програми виконання щодо відновлення р. Унава і її екологічної вагомості для збереження екосистеми. Варто зазначити, що перший та другий етапи передбачають покращення таких гідрохімічних показників якості води у річці, як вміст розчиненого кисню у воді (у т.ч. й процентне насичення води киснем), БСК₅, аніонного та

катіонного складу води. Саме тому ці етапи є важливими у загальній схемі відновлення річки.

Третій етап схеми охоплює реалізацію заходів із берегового укріплення. Після розчищення русла річки та ліквідації всіх бар'єрів важливою частиною є оптимізація берегів і їхнє укріплення, що сприятиме мінімізації впливу ерозійних процесів (сільськогосподарські поля знаходяться досить близько від р. Унава). Одним із важливих заходів є укріплення берегів шляхом озеленення берегової лінії рослинами та деревами, які мають досить потужну розгалужену кореневу систему і є стійкими до затоплення. Це дасть можливість мінімізувати надходження продуктів сільського господарства (поживні речовини, нетоварна частина продукції тощо) до річки і відповідно сприятиме зменшенню біогенного забруднення води у річці.

Створення блакитно-зеленої мережі включено в *четвертий етап* схеми. Приклад створення цієї мережі викладений у Концепції розвитку малих річок Вінниці до 2035 р. [79], що розроблена ВП «Інститут розвитку міст». У концепції прописано, що створення блакитно-зелених мереж забезпечує поєднання в одній мережі об'єктів зеленої (парки, лісопарки, зони відпочинку) та блакитної інфраструктури (річка, заплави, водно-болотні угіддя, водосховища). Їхня ефективність проявляється у створенні умов для безпечного екологічного туризму та розвиток культурно-рекреаційних цінностей населення. Нами запропоновано для відновлення річкової системи Унава запровадити цей підхід, створивши вздовж осередки блакитно-зелених мереж. Це так само сприятиме підвищенню обізнаності населення, рівню культури та свідомості щодо збереження екосистеми. Важливим аспектом у створенні цих мереж є розробка та видання інформаційно-просвітницьких бюлетенів, листів, інфографіків, які міститимуть необхідну інформацію про важливість збереження цього об'єкту.

Нами було запропоновано відновлення р. Унава за технологіями біоплато та чистка річок киснем.

1. *Біоплато* – це фітотехнологія очищення стічних вод, яка використовує природні біологічні процеси в штучно створених водно-болотних угіддях для видалення біогенних елементів, таких як азот і фосфор. Цей метод заснований на принципі природного очищення води за допомогою взаємодії рослин, мікроорганізмів і ґрунту.

Позитивними ефектами є: зниження БСК₅ – до 90%; зменшення вмісту нітратів, фосфатів, коліформних бактерій – до 80-95%; утворення середовища для біорізноманіття.

Приклади втілення на практиці: українські спеціалісти створили і випробували системи з очеретом, рогозом, осокою, які встановлювали у Харківській області в рамках проєкту INCO-COPERNICUS; експериментальна плаваюча двоступенева система з *Phragmites australis* показала зменшення BOD₅ на 93–97% та очищення майже 95–97% завислих часток за дослідженнями Інституту гідробіології НАН.

2. *Чистка річок киснем* – це технологія покращення якості води шляхом насичення її киснем. Основна мета – підвищити вміст розчиненого кисню, що сприяє розкладанню органіки, зменшує запахи, знижує токсичність і покращує умови для водної фауни.

Позитивними ефектами є: зменшення рівня аміаку, фосфатів і нітратів; підвищення рівня життя риби та інших водних організмів; прискорене очищення від мулу та органічних залишків.

Приклади втілення на практиці: річка Десна (Київська та Чернігівська області) у селах Літки і Пухівка (Київська обл.) встановили аераційні установки – дизельні компресори, що постійно подають кисень у воду по пластиковій трубі, шириною основного русла. Це допомогло підтримати самоочисні процеси, відновити нормальний рівень кисню й уберегти рибу від замору; в затоці Кардіффа підтримують рівень кисню ≥ 5 мг/л за допомогою 800 дифузорів по дну та баржі з рідким киснем, що може виділяти до 5 тонн O₂ на добу.

П'ятий етап передбачає проведення моніторингових досліджень на основі індикаторного підходу, який використаний під час оцінки р. Унава. Цей етап розписаний у наступному розділі.

Програма відновлення р. Унава носить рекомендаційний характер для басейнової ради суббасейну Середнього Дніпра та територіальних органів Житомирської та Київської областей, а також для місцевих органів влади. Програма зорієнтована на три роки виконання. Передбачається, що перші три етапи маршруту мають бути реалізовані в перший-другий рік, четвертий і п'ятий етапи – мають бути реалізовані в другий-третій рік виконання програми і спрямовані на підтримку екологічного стану р. Унава для подальшого покращення якісного стану води у водоймі та збереження флори й фауни як осередків, що забезпечують екологічну стабільність водної екосистеми загалом.

Програма передбачена для включення в більш вагомий проєкт з концепції ревіталізації міських водойм, яку з 2024 року розробляє Київська міська рада. Також було б доцільно таку концепцію розробляти й Житомирській міській раді. Неможливо відновити річкову систему лише в межах однієї області, необхідно розробляти концепцію відновлення всього басейну малої річки, охоплюючи всі регіони, у яких вона межує.

4.2. Програма моніторингу

Програма моніторингу передбачає розробку пропозицій оцінювання стану річки на основі індикаторного підходу, що є п'ятим етапом схеми відновлення р. Унава (рис. 4.1).

Зокрема пропозиції передбачають:

1. Включити у моніторинг якості води малих річок показники якості води за індикаторними групами, що надасть можливість більш чітко
 - (а) встановити переважаючий тип та ступінь забруднення річок;
 - (б) оцінити трофічність, сольовий склад та мінералізацію води;
 - (в) визначити класи та категорії якості води для відповідних потреб;
 - (г)

розрахувати та визначити дефіцит води для різних видів водокористування (наприклад для малих річок, які мають у своєму басейні водосховища – визначити індикатор водного дефіциту для відповідних категорій риб).

2. При проведенні оцінювання якості води варто враховувати не лише національні стандарти, але і стандарти ЄС, які нормують показники якості води для різних потреб.
3. Моніторинг якості води малих річок варто проводити сезонно, що надасть можливість визначити вплив змін клімату та інших антропогенних чинників на якість води.

Нами проведена оцінка стану річки за індикаторним підходом (рис. 2.3 у розділі 2.2). Використання такого підходу дає можливість оцінити стан річки залежно від типу забруднення (індикаторна група біогенних показників водойми), сольового складу води (індикаторна група гідрохімічних показників), токсичності водойми для водної біоти (індикаторна група показників важких металів), ступеня сапробності річки з можливістю визначення типу сапробності (індикаторна група показників біологічних та сапробності води), наявності достатньої кількості якісної води для певних видів водокористування (індикатор водного дефіциту). Ці перераховані аспекти є важливими для підтримки оптимального екологічного стану водойми, а також для збереження водної біоти у річках.

Саме тому нами рекомендовано використовувати індикаторний підхід для оцінки річкової системи. Методологія та алгоритм оцінки представлений у розділі 2 (рис. 2.3). Також рекомендуємо проводити моніторинг за цим підходом, включно із сезонністю, що дасть змогу більш точно оцінити тип забруднення та ступінь впливу джерел забруднення.

Висновки до розділу 4

Запропонована програма відновлення та оцінки р. Унава. Програма відновлення включає схему із п'яти основних етапів реалізації заходів із відновлення річки, а також заходи щодо оцінювання річки в подальшому для мінімізації впливу різних джерел забруднення на екологічний стан водойми.

До основних заходів із відновлення р. Унава віднесли поліпшення гідроморфологічного режиму водойми (перший етап); виявлення та ліквідацію різних бар'єрів як у річці, так і на прибережних зонах (другий етап); укріплення берегів шляхом озеленення їх насадженнями, які мають потужну розгалужену кореневу систему (третій етап); створення блакитно-зеленої мережі на виокремлених ділянках вздовж берега річки, що дасть можливість контролювати й зберегти санітарно-прибережну зону, підвищити рівень культури місцевого населення (четвертий етап); проведення оцінювання водойми за сезонністю, включно з індикаторним підходом до оцінки стану води, а також враховуючи контролюючі заходи з боку місцевого самоврядування (п'ятий етап).

ВИСНОВКИ

Під час проведеного теоретико-аналітичного аналізу та синтезу літературних джерел обґрунтовано джерела впливу на річкову системи. Зокрема, зазначено, що тваринництво та стічні води від побутових та промислових галузей є джерелами точкового забруднення, небезпека яких проявляється в наявності стічних вод концентрацій канцерогенних речовин, які є токсичними для водної біоти. Сільське господарство, зокрема рослинництво, є основним дифузним джерелом забруднення річок, небезпека якого проявляється в наявності у воді великих концентрацій біогенних речовин, які негативно впливають на показники кисневого балансу водойм, створюючи небезпеку для водних організмів.

Обґрунтовано екологічну, соціально-економічну роль малих річок у підтриманні та захисті територіальної експансії, підтриманні розвитку сільського господарства за впливу змін клімату, збереженні біофонду цінних тварин і рослин, забезпеченні екосистемних послуг (достатня кількість якісної води для різних галузей господарства, підтримка екологічного стану річки та водного біофонду, формування культурно-рекреаційних цінностей у населення для збереження екосистеми загалом).

Запропонований алгоритм виконання наукового дослідження дисертаційної роботи, який включав пошук актуальності, методології дослідження; блок А, що покрит основні етапи оцінки стану р. Унава, враховуючи індикаторний підхід, блок Б охоплював програму відновлення р. Унава з розробкою схеми реалізації заходів та пропозицій з оцінювання стану річки на основі індикаторного підходу. Наведено характеристику основних антропогенних чинників впливу на досліджувані ділянки, у яких відбувався забір проб води з р. Унава. Зокрема, визначені основні 10 пунктів спостереження, починаючи з витoku річки (1 пункт спостереження), завершуючи гирлом – надходженням русла річки до р. Ірпінь (10 пункт спостереження).

Розроблена методологія оцінювання стану р. Унава, яка включає індикаторний підхід. Виокремлені індикаторні групи показників якісного стану води, зокрема індикаторна група гідрохімічних показників води (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , сухий залишок, водневий показник) дала змогу оцінити сольовий склад води, індикаторна група показників токсичності води для водної біоти (Cu , Zn , Pb , Cd , Fe) оцінює водойму за рівнем безпечності, індикаторна група показників сапробності водойми (розчинений кисень, BSK_5 , прозорість) дає уявлення про органічне забруднення водойми та визначає клас сапробності води, індикаторна група біологічних показників, зокрема за макрофітами як індикаторами сапробності, оцінює трофічний статус водойми, індикаторна група показників біогенного забруднення визначає тип переважаючого забруднення (точковий, дифузний, з переважаючим фосфорним чи азотним забрудненням) та індикатор водного дефіциту для прогнозу доступності необхідної кількості якісної води для різних видів водокористування.

Результати проведених аналітичних досліджень за індикаторною групою гідрохімічних показників якості води р. Унава показали, що досліджувана вода належить до: (а) гідрокарбонатного класу групи кальцію ($\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$) гіппогалинного 1 типу із середнім умістом катіону кальцію в 2022 році $33,5 \text{ мг/дм}^3$ (мін. = 32 мг/дм^3 ; макс. = 36 мг/дм^3) та в 2024 році – $79,7 \text{ мг/дм}^3$ (мін. = 58 мг/дм^3 ; макс. = 134 мг/дм^3); (б) I та II класів якості за вмістом сульфатів та загального вмісту солей у воді, до II та III класів якості за показником хлоридів (у 2024 році – $\Sigma \text{Cl}^- = 36,7 \text{ мг/дм}^3$; у 2022 році – $\Sigma \text{Cl}^- = 89,9 \text{ мг/дм}^3$).

Визначені класи сапробності р. Унава, зокрема, за показником прозорості водойму віднесено до категорії «брудної» води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних, за вмістом BSK_5 водойму віднесено до «брудної» води з полісапробним класом.

Означені індикатори трофічного стану водойми, до яких належать такі макрофіти, як *Ceratophyllum submersum*. - кушир напівзанурений, *Potamogeton*

pusillus - рдесник дрібнолистий, *Stuckenia pectinata* - рдесник гребінчастий, *Trapa natans* L. s. l - водяний горіх плаваючий, *Lemna minor* L. - ряска мала, *Phragmites australis* - очерет звичайний. За цією групою макрофітів-індикаторів оцінений трофічний статус водойми від «мезотрофного» до «евтрофного» з типом забруднення від «помірно забруднених» до «забруднених».

За індикаторною групою токсичності водойми за показниками важких металів з'ясовано, що відсутні перевищення фактичних концентрацій у досліджуваній воді за всіма показниками (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe) і, відповідно, водойму віднесено до I класу з 1 категорією якості води.

Досліджуючи показники води за індикаторною групою біогенного забруднення водойми, з'ясовано, що концентрація азоту нітритного (0,006-0,306 мгN/дм³ за 2022 рік, 0,006-0,051 мгN/дм³ за 2024 рік, оцінюючи від 3 до 5 класів якості) у воді є непридатною для водної екосистеми; азоту амонійного – для рекреаційних, господарсько-побутових потреб (1,21-1,83 мгNH₄⁺/дм³ за 2022 рік, 1,16-5,88 мгNH₄⁺/дм³ за 2024 рік за норми 2,0 мгNH₄⁺/дм³) та для питних цілей і водної екосистеми загалом (0,814-6,84 мгN/дм³ за 2022 рік, 0,364-4,56 мгN/дм³ за 2024 рік, оцінюючі водойму за 3 та 4 класом якості для питних потреб, 4-5 класом якості – для водної екосистеми); фосфору – обмежено придатною для водної екосистеми (0,062-0,196 мгP/дм³ за 2022 рік, 0,333-0,597 мгP/дм³ за 2024 рік, оцінюючі водойму за 2-3 класом якості в 2022 році та 5 класом якості в 2024 році).

Установлено, що лімітуючою біогенною речовиною за стехіометричного співвідношенням Редфільда в 2022 році досліджень були йони мінерального фосфору ($RR = 29,42-108,64$), а йони мінерального азоту знаходилися в надлишку, тобто переважаючим було азотне забруднення водойми з можливим ростом зелених водоростей. У 2024 році лімітуючою ознакою були йони мінерального азоту ($RR = 6,32-18,71$), а йони фосфору в цих умовах перебували в надлишку, тобто переважаючим був тип фосфорного забруднення води з можливим розвитком синьо-зелених водоростей.

Розрахований індекс водного дефіциту водойми для певних категорій риб за методикою розрахунку індикатора водного дефіциту з врахуванням показників кисневого балансу (уміст розчиненого кисню у воді, БСК₅), концентрації яких суттєво впливають на екологічний стан водойми. Із врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховані індекси водного дефіциту водойми для певних категорій риб: для окуневих $WSq_{2022} = 0,48$ (високий рівень водного дефіциту) та $WSq_{2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту); коропові, судак, товстолобик, щука – $WSq_{2022/2024} = 0,30$ (середній рівень водного дефіциту).

Рівень водного дефіциту р. Унава з врахуванням показника якості – БСК₅ є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ($WSq_{2022} = 3,15$, $WSq_{2024} = 5,63$). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у р. Унава.

За результатами дослідження визначені екологічні, економічні та соціальні ризики, які могли вплинути на екологічний стан водойми, її зарегульованість та відсутність течії. Поєднані наведені ризики з причинами виникнення та запропоновані заходи, які сприятимуть мінімізації впливу цих ризиків на екологічний стан водойми.

Запропоновано програму відновлення р. Унава, що включає схему впровадження заходів із поліпшення гідрологічного режиму р. Унава, усунення бар'єрів на річці для покращення швидкості течії, укріплення берегів для запобігання впливу ерозійних процесів, створення блакитно-зеленої мережі для збереження осередків флори та фауни й підвищення рівня освіченості населення щодо культурно-природної спадщини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Abera G., Wolde-Meskel E., Bakken L.R. Effect of organic residue amendments and soil moisture on N mineralization, maize (*Zea mays* L.) dry biomass and nutrient concentration. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2013. 59. P. 1263–1277 DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.722623>
2. Ahmed J., Thakur A., & Goyal A. (2021). Biological Treatment of Industrial Wastewater. Book of Series Chemistry in the Environment. *Publisher of the Royal Society and Chemistry*. 2021. 420 p. DOI: <https://doi.org/10.1039/9781839165399-00001>.
3. Bae S., & Seo D. Changes in algal bloom dynamics in a regulated large river in response to eutrophic status. *Ecological Modelling*. 2021. 454. 109590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109590>.
4. Bhat S. U., & Qayoom U. Implications of sewage discharge on freshwater ecosystems. In *Sewage-Recent Advances, New Perspectives and Applications* (pp. 1-18). *IntechOpen*. 2021. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=utJkEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA97&dq=Impact+of+sewage+waste+on+river&ots=-GxZpxHPcR&sig=d0PQnLKmj8OvkmPl-bfZmSpDCR8&redir_esc=y#v=onepage&q=Impact%20of%20sewage%20waste%20on%20river&f=false
5. Bulbul Ali A., & Mishra A. Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2022. 10(4). 113-127. DOI: <https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2693>.
6. Datta A., & Philip L. Biodegradation of volatile organic compounds from paint industries. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2012. 167. 564-580. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-012-9706-8>.
7. De Vries W. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2021. 100249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>.

8. Devlin M., Brodie J. Nutrients and eutrophication. In Marine pollution – monitoring, management and mitigation. *Cham: Springer Nature Switzerland*. 2023. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10127-4_4.
9. Di Virgilio G., Ji F., Tam E., Nishant N., Evans J. P., Thomas C., ... & Delage F. Selecting CMIP6 GCMs for CORDEX dynamical downscaling: model performance, independence, and climate change signals. *Earth's Future*. 2022. 10(4). DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002625>.
10. Drechsel P., Marjani Zadeh S., Pedrero F. (eds). Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation. *Rome, FAO & IWMI*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc7340en>.
11. Edokpayi J. N., Odiyo J. O., & Durowoju O. S.. Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a case study of South Africa. *Water quality*. 2017. 10(66561). 10-5772. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=GMOQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA401&dq=Impact+of+sewage+waste+on+water+quality&ots=d0CoZTXVca&sig=St2LQ1HqCuUTGHHjX7-mTndP2Tg&redir_esc=y#v=onepage&q=Impact%20of%20sewage%20waste%20on%20water%20quality&f=false.
12. Evans A. E., Mateo-Sagasta J., Qadir M., Boelee E., & Ippolito A. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current opinion in environmental sustainability*. 2019. 36. 20-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>.
13. Feng W., Wang T., Zhu Y., Sun F., Giesy J. P., & Wu F. Chemical composition, sources, and ecological effect of organic phosphorus in water ecosystems: A review. *Carbon Research*. 2023. 2(1). 12. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44246-023-00038-4>.
14. Jones E.R., van Vliet M.T.H., Qadir M. & Bierkens M.F.P. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*. 2021. C. 237–254. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>.

15. Kabir M., Habiba U. E., Khan W., Shah A., Rahim S., De los Rios-Escalante P. R., ... & Shafiq M. Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University-Science*. 2023. 35(5). 102693. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>.
16. Kapsalis V. C., Kalavrouziotis I. K.. Eutrophication – A worldwide water quality issue. *Chemical Lake Restoration: Technologies, Innovations and Economic Perspectives*. 2021. P. 1–21. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-76380-0_1.
17. Lindholm-Lehto P. C., Knuutinen J. S., Ahkola H. S., & Herve S. H. Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. 22. 6473-6499. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4163-x>.
18. Lokhande R. S., Singare P. U., & Pimple D. S. Toxicity study of heavy metals pollutants in waste water effluent samples collected from Taloja industrial estate of Mumbai, India. *Resources and Environment*. 2011. 1(1). 13-19. DOI: 10.5923/j.re.20110101.02.
19. Micella I., Kroeze C., Bak M. P., & Strokal M. Causes of coastal waters pollution with nutrients, chemicals and plastics worldwide. *Marine Pollution Bulletin*. 2024. 198. 115902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115902>.
20. Munter R. Industrial wastewater characteristics. The Baltic University Programme (BUP), Sweden, 2003, 185.
21. Nirel P. M., & Revaclier R. Assessment of sewage treatment plant effluents impact on river water quality using dissolved Rb/Sr ratio. *Environmental science & technology*. 1999. 33(12). 1996-2000. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es981097g>
22. Ou W., Lan X., Guo J., Cai A., Liu P., Liu N., ... & Lei, Y.. Preparation of iron/calcium-modified biochar for phosphate removal from industrial wastewater.

Journal of Cleaner Production. 2023. 135468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135468>.

23. Pedrero F., Kalavrouziotis I., Alarcón J. J., Koukoulakis P., & Asano T.. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*. 2010. 97(9). 1233-1241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.003>.

24. Pichura V. I. Potravka L. O. Ecological condition of the Dnipro River Basin and improvement of the mechanism of organization of nature use on the water catchment territory. *Water Bioresources and Aquaculture*. 2021. P. 170–200. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.14>.

25. Rajkumar D., & Palanivelu K. Electrochemical treatment of industrial wastewater. *Journal of hazardous materials*. 2004. 113(1-3). 123-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.05.039>.

26. Sahu A. K., Mir S., Nayak B., Baitharu I. Sustainable management of eutrophication and problems associated with the algal toxin in ponds and lakes of rural areas (Chapter 13). In *Water Resources Management for Rural Development*. 2024. pp. 155-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00021-0>.

27. Skyba G. V., Kireitceva H. V., Tsyhanenko-Dziubenko I. Y. Quality indicators of small rivers' waters: assessment methodology and environmental challenges. *Publishing House “Baltija Publishing”*, 2025.

28. Song M., Pan X. & Pan X. Assessment of China’s marine ecological carrying capacity. In: M. Song, Xiongeng Pan & Xiangyou Pan, eds. *Sustainable Marine Resource Utilization in China*. 2020. P. 29–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819911-4.00002-3>.

29. Stepova O. V., Gakh T. O. & Tyagniy L. M. Diffuse pollution with biogenic elements (nitrogen, phosphorus) of the Vorskla River in Poltava. Environmental safety: problems and solutions: materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference (15-16 September 2022, Kharkiv), P. 291–297. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2022.pdf#page=291>.

30. Strokai V., & Hats A. Biogenic pollution of the Unava River waterbody. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. 21(1). P. 9–27. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi/1.2025.09>.
31. Strokai V., Kurovska A., & Strokai M. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2023. 20(1). 2281920. DOI: <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920>.
32. Tang Z., Zhang L., Huang Q., Yang Y., Nie Z., Cheng J., ... & Chai M. Contamination and risk of heavy metals in soils and sediments from a typical plastic waste recycling area in North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. 122. 343-351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.08.006>.
33. Tiwari A. K., Pal D. B. Nutrients contamination and eutrophication in the river ecosystem. In *Ecological significance of river ecosystems*. 2022. 203-216 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00001-7>.
34. Tyagniy L., Stepova O., Gakh T. Sources of pollution by biogenic substances (nitrogen, phosphorus) of the Vorskla River and its tributary the Kolomak River within the city of Poltava. Environment recovery and reconstruction: war context: materials of the International Scientific-Practical Conference (17-18 November 2022, Poltava), The site of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». 2022. P. 107–108. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/12023>.
35. UNEP-2017 (United Nations Environment Programme). A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Nairobi, UNEP. https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf. (дата звернення: 18.03.2025).
36. UN-Water-2021. Summary Progress Update 2021: SDG 6 – water and sanitation for all. Version: 1. Geneva, UN-Water. URL: www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-waterand-sanitation-for-all (дата звернення: 18.03.2025).

37. van Vliet M. T., Flörke M., & Wada Y. Quality matters for water scarcity. *Nature Geoscience*. 2017. 10(11). P. 800–802. URL: <https://www.nature.com/articles/ngeo3047>.
38. Voitenko A., Voitenko L., Hats A., Skrypets B. Drinking Water Quality Index: A Useful Tool For Integrated Assessment of Drinking Source Suintability. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки»*. 25-26 жовтня 2022 р. Київ : НУХТ, 2022. С. 23–25.
39. Voitenko L., Hats A., Kopilevich V., Voitenko A. How to Unify Drinking Water Quality Assessment: Problems And Solutions. *Second International Congress On Biological And Health Sciences. Abstract Book*. 24-27 February, 2022. Turkey. P. 400.
40. Voitenko L., Zalenska E., Hats A., Korniychuk O., Skrypets B., Voitenko A.. Development of agricultural water quality indices for Ukraine. *Book of Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2022»*. Jahorina, Bosnia and Herzegovina. October 06-09, 2022. P. 889–897.
41. Volta P., & Jeppesen E. Impacts of human activities and climate change on freshwater fish. *Water*. 2021. 13(21). 3068. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13213068>.
42. Wang M., Zhang Q., Li Y., Bak M., Feng S., Kroeze C., ... & Strokal M. Water pollution and agriculture: Multi-pollutant perspectives. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2023. 10(4). 639-647. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2023527>.
43. Wang Q., & Yang Z. Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. *Environmental pollution*. 2016. 218. 358-365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.011>.
44. Wang Z., Xue M., Huang K., & Liu Z. Textile dyeing wastewater treatment. *Advances in treating textile effluent*. 2011. 5. 91-116. URL: <https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=2XuQDwAAQBAJ&oi=fnd&p>

[g=PA91&ots=LOvh9DjrI6&sig=67LjI1xp_AvKLKyyLyc1zRVa0rE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text)

45. Water Strategy of Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 09.12.2022 No. 1134-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (data of access: 18.12.2024)

46. Xie Y., Liu, X., Wei, H., Chen, X., Gong, N., Ahmad, S., ... & Ni, S. Q.. Insight into impact of sewage discharge on microbial dynamics and pathogenicity in river ecosystem. *Scientific Reports*. 2022. 12(1). 6894. DOI: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-09579-x>

47. Адаменко Т. Кліматичні умови України та можливі результати потепління клімату. *Агроном*. 2007. № 1. С. 8-11. (дата звернення: 25.02.2025).

48. Барабаш М. Б., Корж Т. В., Татарчук О. Г. Вивчення зміни опадів на рубежі XX і XXI століть в умовах глобального потепління клімату. *Наукові праці UkrNDGMI*. 2004. № 253. С. 92-102.

49. Басов М. В. Комплексна оцінка якості води малих річок на прикладі лівих приток річки Рось / М. В. Басов, Л. В. Сиса. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів : 2015. № 12. С. 100-106. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh_2015_12_16.

50. Боярин М. В., Нетробчук І. М. Основи гідроекології: теорія й практика : навч. посіб. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 365 с.

51. Бровдій А. М., Дружнікова Л. О. Основні проблеми житлово-комунального господарства та шляхи їх вирішення. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/44728/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%20%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%20%D0%BA%D0%B0%D1%84%20%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B0%202016-105-107.pdf> (дата звернення: 25.02.2025).

52. Бровченко В. С., Строкаль В. П. (2023). Основні джерела забруднення природних вод внаслідок сільськогосподарської

діяльності. *Збірник матеріалів доповідей учасників IX Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Екологія—філософія існування людства», (19-20 квітня 2023, м. Київ).* НУБіП, 2023. С. 14–15. URL:

https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/zbirnik_0.pdf#page=14

53. Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006, 240 с. URL:

https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 25.04.2024 р.).

54. Водний Кодекс України / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 25.02.2025).

55. Водний кодекс України : Відомості Верховної Ради України, 1995, № 24, ст. 189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 20.03.2025).

56. Войтенко Л. В. Хімія з основами біогеохімії : навчальний посібник. Київ : Наукова столиця, 2019. 400 с.

57. Войтенко Л. В., Копілевич В. А., Заленська Є. А., & Гаць А. К. Оцінка якості води для зрошення: методологія та практика. Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр. Херсон : ХДАЕУ, 2021. Вип. 3. С. 125–129.

58. Вплив агровиробництва на екосистеми та здоров'я людей. URL: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/vplyv-agrovyrobnycztva-na-ekosystemy-tazdorovya-lyudej> (дата звернення: 25.09.2024).

59. Гаць А. К. Аналіз прогнозованих ризиків погіршення екологічного стану р. Унава. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія – філософія існування людства», (м. Київ, 23-24 квітня, 2025). Київ : НУБіП України, 2025. С. 36-37.

60. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько–побутових та інших потреб населення: Затверджено

наказом МОЗ України від 02.05.2022 р. № 721. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення: 20.01.2025).

61. Гриб Й. В., Петрук А. М., Борщевська І. М., Войтишина Д. Й., Михальчук М. А. Біоіндикація стану водного середовища у комплексному оцінюванні токсичності слабопроточних водойм. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2023. 2(102). С. 31–50. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220233>

62. 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 (дата звернення: 25.04.2024).

63. Директива Ради 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 року стосовно охорони вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/stosovno_okhoroni_vod_vid_zabrud-3-27836.pdf (дата звернення: 25.04.2024).

64. Дмитренко Т. В., Вергелес Ю. І. Аналіз сучасного стану проблеми екологічної деградації малих річок України. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, (132), 2016. С. 93-97. URL: <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eprints.kname.edu.ua/45211/1/4916-9768-1-SM.pdf>

65. ДСанПіН 2.2.4–171–10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ: МОЗ України. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 20.01.2025).

66. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. [На заміну ГОСТ 2761–84; чинний від 01.01.2012] (дата звернення: 20.01.2025).

67. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості питної води. Видано офіц. Київ: Мінекономрозвитку України. 2014 URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf (дата звернення: 20.01.2025).

68. Еколого-економічні проблеми довкілля Житомирщини: *монографія*. В. І. Карпов та ін.; за. ред. П. П. Михайленка. Житомир. 2001. 320 с.

69. Злочевський М. В. Відновлення водних екосистем малих річок України / М. В. Злочевський, Г. М. Петрук, М. О. Клименко, В. В. Древецький. Вісник Інженерної академії України. Вип. 3-4. 2010. С. 227-230. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Viau_2010_3-4_48.

70. Ігнатенко О. Як сільськогосподарські практики впливають на довкілля та соціальний розвиток. URL: <https://www.dossier.org.ua/news/yaksilskogospodarski-praktiki-vplivayut-na-dovkilliya-ta-socialniy-rozvitok> (дата звернення: 18.02.2025).

71. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / С. Р. Артем'єв, Н. С. Горбань, Г. В. Коробкова та ін. Харків : НУГЗУ, 2015. 419 с.

72. Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів. URL: <https://texty.org.ua/water/> (дата звернення: 27.03.2024).

73. Калетник К. В. Лімітуючі фактори антропогенної евтрофікації малої річки Замчисько. Студентський вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2017. 2(8). С. 42–45. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/9941/1/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9A.%D0%92.%D0%B2%D0%B8%D0%BF.2%288%292017.pdf>

74. Кирилюк О. В., Костенюк Л. В., Опеченик В. М. Проблеми екологічного руслознавства: конспект лекцій. Чернівці : Рута. 2009. Частина 2. С. 83. (дата звернення: 18.09.2024)

75. Колісник А. В., Юрасов С. М. Вдосконалення методики комплексної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2009, Вип. 7. С. 192–202. URL: <http://bulletin.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2009/05/26-Kolisnyk-Urasov.pdf>.
76. Лико С. М., Суходольська І. Л. Гідроекологія: навчальний посібник. Київ : Кондор-Видавництво, 2017. 276 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Liko_2017_212.pdf
77. Лобода Н. С., Розвод М. Р. Зміни температурного режиму повітря в басейні річки Дністер на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. (33). С. 38–48. DOI: 10.31481/uhmj.33.2024.03.
78. Макаренко Н. А., Строкаль В. П., Бережняк Є. М., Бондарь В. І., Павлюк С. Д., Вагалюк Л. В., Наумовська О. І., Ладика М. М., Ковпак А. В. Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022. 4(98). 1-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.04.003>.
79. Малі річки Вінниці. Концепція розвитку малих річок Вінниці до 2035 р. : КП «Інститут розвитку міст», 2023. (дата звернення: 18.03.2025).
80. Малі річки України : довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов та ін.; за ред. А. В. Яцика. Київ : Урожай. 1991. 294 с.
81. Малі річки України: геоекологічний огляд проблем / Сердюк С. М. та ін. 2017. № 1 (40). С. 101–106. URL: https://jdmi.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/06/Serduk_JDMI_1_2017.pdf (дата звернення: 18.02.2025).
82. Малі річки України: довідник / за ред. А. В. Яцика. Київ : Урожай. 1991. 294 с. (дата звернення: 25.05.2024).
83. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін. Київ : СИМВОЛ–Т, 1998. 28 с.

державної аграрної академії «Scientific Progress & Innovations». 2019. № 3. С. 103–110. URL: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.03.13>.

90. План управління річковим басейном Вісли на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1078-р. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-visli34>

91. План управління річковим басейном Дніпра на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1077-р. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-dnipra1>

92. План управління річковим басейном Дністра на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1078-р. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-dnistra34>

93. План управління річковим басейном Дону на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1077-р. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-donu34>

94. План управління річковим басейном Дунаю на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31.12.2024 р. № 1347. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-dunayu1>

95. План управління річковим басейном Південного Бугу на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1078-р. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-pivdennogo-bugu>

96. Полозенцева В. О., Юрченко А. І. Щодо впливу бойових дій на стан ґрунтів Донецької області. *Наукові орієнтири: теорія та практика досліджень*: матеріали II Міжнародної наукової конференції (м. Суми, 3 листопада 2023 р.). Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця : ТОВ

«УКРЛОГОС Груп». 2023. С. 111–116. URL: <https://archive.mcnd.org.ua/index.php/conferenceproceeding/issue/view/03.11.2023/43>

97. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (Food and Agriculture Organization, FAO). URL: <https://www.fao.org/home/en> (дата звернення: 18.02.2025).

98. Резолюція 71/222 «Вода для сталого розвитку». Генеральна Асамблея ООН. 2015. URL: <https://documentsddsny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N16/460/03/PDF/N1646003.pdf> (дата звернення: 12.02.2025).

99. Рибалова О. В. Комплексний підхід до визначення екологічного стану басейнів малих річок. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки : зб. наук. пр. УкрНДІЕП. Харків, 2010. С. 88-98. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6584>

100. Руденко С., Дзензерська, О. Залежність показника Редфілда від фаз водного режиму річкових екосистем. *Біологічні системи*. 2015. Т. 7. Вип. 2. С. 184–194. URL: http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/vb/t7-v2-2015/8_rudenko.pdf.

101. Савенко Н. М., Коба С. А. Оцінка якості води за мікробіологічними показниками. Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ», (May 20, 2022; Cambridge, United Kingdom). 2022. С. 136-137. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-20.05.2022.040>.

102. Сердюк В. А., Максін В. І. Проблемні питання здійснення екологічного моніторингу якості підземних вод сільських населених пунктів Київської області. *Вода і водоочисні технології*. 2020. Т. 27. № 2. С 108–121. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-93002722020203178>.

103. Совгіра С. В. Методика дослідження екологічного стану басейнів малих річок : *монографія* / Совгіра С. В., Гончаренко Г. Є., Гончаренко В. Г., Берчак В. С. Умань : ВПЦ «Візаві». 2016. 288 с. URL: <https://dspace.udpu.edu.ua/handle/6789/6042>

104. Сосновський С. Є., Анісімова С. В. Вплив змін клімату на гідросферу. Матеріали 84-ї міжнародної студентської наукової конференції Харківського національного автомобільнодорожнього університету (м. Харків, 11-15 квітня 2022 р.). Харків : Харківський національний автомобільнодорожній університет, 2022. С. 70–72. (дата звернення: 20.03.2025).

105. СОУ 05.01–37–385:2006 Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. [Чинний від 2007–11–01]. Київ. 2006. 15 с. (дата звернення: 18.01.2025).

106. Стельмах В. Ю., Мельнічук М.М. Гідрографія України: конспект лекцій. Методична розробка для студентів географічного факультету. Луцьк, 2022. 121 с. URL:

https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/20895/1/Hidrohrafia%20Ukr_kurs.pdf

107. Степова О. В., Рома В. В. Оцінка біогенного забруднення поверхневих водойм Полтавської області. *Вісник Полтавської державної аграрної академії «Scientific Progress & Innovations»*. 2016. № 1–2. С. 93–97. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.1-2.19>

108. Строкаль В. П., Бережнюк Є. М., Наумовська О. І., Вагалюк Л. В., Ладика М. М., Сербенюк Г. А., Паламарчук С. П., Павлюк С. Д. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: *монографія* / В. П. Строкаль, Є. М. Бережнюк, О. І. Наумовська, Л. В. Вагалюк, М. М. Ладика, Г. А. Сербенюк, С. П. Паламарчук, С. Д. Павлюк // За заг. ред. В. П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 218 с.

109. Строкаль В. П., Гаць А. К. Дефіцит якісної води для рибальства в річці Унава. Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 7(58), 2025. С. 216-225 DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.35>

110. Строкаль В. П., Гаць А. К. Оцінювання водного середовища р. Унава за показниками сапробності. *Екологічні науки*. 2024. 6(57). С. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.13>.
111. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Басейнове управління водними ресурсами України: SWOT-аналіз. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2020. Т. 11. № 4. С. 35–56. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2020.04.004>.
112. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Екологічний стан природних вод суббасейну Верхнього Дніпра та Десни: показники якості води і можливі причини їх погіршення. *Біологічні системи: теорія та інновації*. 2021. 12(2). 24-40. DOI: <https://doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003>.
113. Строкаль В. П., Куровська А. В. Інтегральне оцінювання екологічного стану води Київського водосховища: *монографія*. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 225 с.
114. Строкаль В. П., Куровська А. В. Науково-методичні рекомендації: Інтегральна оцінка екологічного стану природних вод для різних видів водокористування. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 64 с.
115. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Причинно-наслідкові зв'язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних. *Екологічні науки*. Київ : 2021. Вип. 2 (35). С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>.
116. Тваринництво в Україні: вплив на довкілля. URL: <https://epl.org.ua/eco-analytics/tvarynnystvo-v-ukrayini-vplyv-na-dovkillya/> (дата звернення: 30.04.2024).
117. Уberman В., Васьковець Л. Європейська водоохоронна парадигма в українському правовому регулюванні скидання забруднювальних речовин у поверхневі води. *Law. State. Technology*. 2025. (1). С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.32782/LST/2025-1-3>.
118. Усачов О. Д., Романчук М. Є. Оцінка якості води р. Тетерів–м.Житомир за індексом забруднення (ІЗВ) та модифікованим індексом (ІЗВ мод). Матеріали щорічної науково-практичної конференції «Екологічна і

техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (м. Харків, 13-14 квітня 2021 р. Харків : Харківський національний університет будівництва і архітектури, 2021. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/10147/1/EkolTehBezpeka_HNUBA_13-14.04_2021_C128-130.pdf (дата звернення: 20.03.2025).

119. Ухань О. О., Осадча Н. М. Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1 (59). С. 58–63. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>

120. Фізична та економічна географія Дніпропетровської області / Пасічний Г. В. та ін. Дніпропетровськ : ДДУ. 1992. 188 с.

121. Хільчевський В. К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. 1(59). С.17-28. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.2>.

122. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. Великі і малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості поширення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. 2(60). С.6-18. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1>.

123. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р. Хімічний аналіз та оцінка якості природних вод: навч. посібник. Луцьк : Вежа–Друк, 2021. 76 с.

124. Хільчевський В. К. Водна політика: світові тенденції, стан в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. № 4(70). С. 6–22. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.4.1>

125. Хільчевський В. К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1 (59). С. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.2>.

126. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. Водні об'єкти України та рекреаційне оцінювання якості води: навчальний посібник. Київ : ДІА, 2022. 240 с.

127. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 2. С. 32-47. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_2_4

128. Хільчевський В. К., Гребінь В. В., Забокрицька М. Р. Оцінка гідрографічної мережі району річкового басейну Вісли (Західного Бугу та Сяну) на території України згідно типології Водної рамкової директиви ЄС. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. № 1(40). С. 29–41. DOI: <http://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/14496>.

129. Хімко Р. В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки – дослідження, охорона, відновлення. *Інститут екології*. 2003. 378 с.

130. Чайка Т. О. Екологічні наслідки традиційного сільського господарства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії «Scientific Progress & Innovations»*. 2013. № 3. С. 95–99. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2013.03.18>

131. Чинне законодавство зі змінами / Кодекс України про надра, Лісовий кодекс України, Водний кодекс України. Київ : Паливода А. В. 2015. 180 с. (дата звернення: 30.04.2024).

132. Чиняк А. Розподіл температур повітря і опадів по території України. *Збірник наукових праць студентів географічного факультету*. Ужгород, 2020. С. 116-120. URL: <https://surl.li/qrobsw>.

133. Юрасов С. М., Кур'янова С. О., & Юрасов М. С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 42–53. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2016/08/5-Yurasov-Kurianova.pdf>.

134. Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса : Одеський державний екологічний університет. 2011. 164 с.

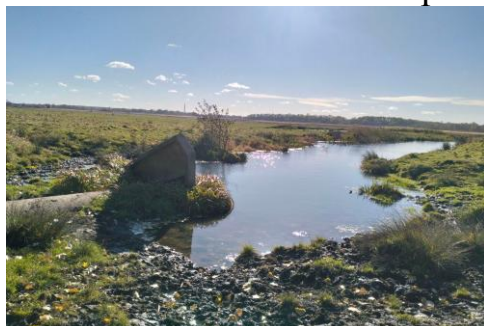
135. Юрченко А. І. Щодо впливу стоку сільськогосподарських угідь на якість води поверхневих водних об'єктів. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: збірник наукових статей XIX Міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, 14–15 вересня 2023 р.). Харків : УКРНДІЕП. 2023. С. 395–401. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf> (дата звернення: 25.08.2024).

ДОДАТКИ

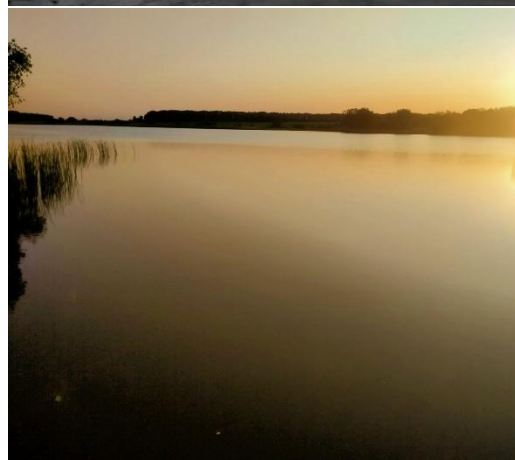
ДОДАТОК А.

Фото-фіксація пунктів спостереження р. Унава

Житомирська область, річка Унава



Київська область, річка Унава



ДОДАТОК Б
Загальна характеристика методів хімічного аналізу зразків води

№	Показник	Нормативний документ	Метод виконання	Чутливість методу за стандартом (діапазон вимірювання)	Погрішність вимірювання
1	Водневий показник (рН)	ДСТУ 4077–2001 Якість води. Визначання рН (ISO 10523:1994, MOD)	Електрохімічний	± 0,1 одиниць рН	± 0,05 одиниць рН
2	Вміст нітратного азоту (нітратів)	ДСТУ 4078–2001 Якість води. Визначання нітрату. Частина 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти (ISO 7890–3:1998, MOD)	Фотометричний	0,05 мг/дм ³	5 % (відн.)
3	Вміст нітритного азоту (нітритів)	ДСТУ ISO 6777:2003 Якість води. Визначання нітритів спектрометричним методом молекулярної абсорбції (ISO 6777:1984, IDT)	Фотометричний	0,001 мг/дм ³	8 % (відн.)
4	Вміст амонійного азоту (амонію)	ДСТУ ISO 7150–1:2003 Якість води. Визначання амонію. Частина 1. Ручний спектрометричний метод (ISO 7150–1:1984, IDT)	Фотометричний	0,005 мг/дм ³	5 % (відн.)
5	Вміст фосфору	ДСТУ ISO 6878:2008 Якість води. Визначення фосфору. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату (ISO 6878:2004, IDT)	Фотометричний	0,005 мг/дм ³	10 % (відн.)
6	Вміст хлоридів	ДСТУ 4079–2001 Якість води. Визначання загального вмісту хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора) (ISO 9297:1989, MOD)	Титрометричний	0,1 мг/дм ³	0,2 % (відн.)
7	БСК ₅	ДСТУ ISO 5815–1:2009 Якість води. Визначення біохімічного споживання кисню після n днів (БСК _n). Частина 1. Метод розведення та засівання з додаванням алілтіосечовини (ISO 5815–1:2003, IDT)	Мікробіологічний	3–6000 мг О/дм ³	0,5 мг О/дм ³

Продовження додатку Б					
8	Сума іонів (загальна мінералізація)	ГОСТ 18164–72 Вода питна. Метод визначення вмісту сухого залишку	Гравіметричний	2 мг/дм ³	0,5 % (відн.)
9	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	ДСТУ ISO 6058:2003 Якість води. Визначання кальцію. Титрометричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти; ДСТУ ISO 6059:2003 Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титрометричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти	Титрометричний	0,05 ммоль/дм ³	± 0,04 ммоль/дм ³
10	Вміст сульфатів	ГОСТ 4389–72. Вода питна. Методи визначення вмісту сульфатів	Гравіметричний	0,5 мг/дм ³	0,1 % (відн.)
11	HCO ₃ ⁻	ДСТУ ISO 9963–1:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963–1:1994, IDT); ДСТУ ISO 9963–2:2007. Якість води. Визначення лужності. Частина 2. Визначення карбонатної лужності (ISO 9963–2:1994, IDT)	Титрометричний	0,4 –20 ммоль/дм ³	0,1 % (відн.)
12	Розчинений кисень мг O ₂ /дм ³	ДСТУ ISO 5814:2003 Якість води. Визначання розчиненого кисню. Електрохімічний метод із застосуванням зонду (ISO 5814:1990, IDT)	Електрохімічний	0,5–15 мг O ₂ /дм ²	± 0,2 O ₂ мг/дм ³
13	Загальне залізо	ДСТУ ISO 6332:2003 Якість води. Визначання заліза. Спектрометричний метод із використанням 1,10–фенантроліну (ISO 6332:1988, IDT)	Фотометричний	0,005 – 10 мг/дм ³	10 % (відн.)
14	Мідь, цинк, свинець, кадмій	Методика виконання вимірювання масової концентрації свинцю, міді, цинку, кадмію у воді методом інверсійної хронопотенціометрії :	Електрохімічний	0,001 мг/дм ³	20 % (відн.)

ДОДАТОК В.

Мета оцінювання екологічного стану р. Унава за індикаторним підходом

№	Мета оцінки	Індикаторна група показників якості води	Методика оцінювання
1	А) Тип забруднення: точковий, дифузний Б) Стан та ступінь забруднення	Біогенні речовини <i>показники якості води: вміст фосфору (PO_4^{2-}) та азоту (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+)</i>	А) Визначення лімітуючої біогенної речовини за стехіометричним співвідношенням Редфільда; Б) Визначення класів та категорій якості води за методикою Екологічна оцінка якості поверхневих вод за відповідними категоріями
2	Клас сапробності водного середовища	Індикаторна група показників сапробності води: <i>прозорість, БСК₅, вміст розчиненого кисню у воді (O_2)</i>	Визначення класів сапробності водного середовища за методикою та категоріями сапробності
3	Трофний статус річки	Індикаторна група біологічних показників - макрофіти	Методикою Майєра та Карпова.
4	Токсичність води	Індикаторна група показників токсичності води: <i>вміст важких металів у воді (мідь, цинк, свинець, кадмій)</i>	Визначення класів та категорій якості води за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями
5	Придатність річки як середовища для нормального функціонування водних організмів (гідробіонтів)	Індикаторна група індексів водного дефіциту, які відповідають за якісний стан води: БСК ₅ , вміст розчиненого у воді (O_2)	Визначення індексу водного дефіциту водойми для певних категорій риб за методикою розрахунку індикатора водного дефіциту розробленої європейськими вченими
6	Оцінка річки за сольовим складом та ступенем мінералізації	Індикаторна група гідрохімічних показників: <i>pH, гідрокарбонатність, показники аніонного та катіонного складу</i>	Визначення класів та категорій якості води за методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями

ДОДАТОК Г.

Статистична обробка усереднених даних за гідрохімічними показниками

Статистичні дані	Заг.вміст солей, мг/дм ³		Уміст хлоридів, мг/дм ³		Уміст сульфатів, мг/дм ³		Уміст гідрокарбонатів, мг/дм ³		Уміст магнію, мг/дм ³		Умість кальцію, мг/дм ³		Уміст калію, мг/дм ³	Уміст натрію, мг/дм ³
	Роки дослідження													
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2024	2024
Мінімальне значення (min.)	543	490	76	8	7	20	326	256	24	17	32	58	3,8	16,2
Максимальне значення (max.)	722	725	138	59	48	54	531	494	31	38	36	134	8,9	36,5
Середнє арифметичне значення	639	556	90	36	27	33	436	337	28	31	33	79	6,9	30,2
Дисперсія, σ (стандартне відхилення)	56,4	83,7	19,2	21,7	13,9	10,9	59,8	79,4	2,6	5,9	1,9	28,0	1,6	7,7

Усереднені дані з 10 пунктів забору проб води, кожен пункт мав по 3 забори (n=3), кожен забір води мав три повторності визначення показника.

Статистична обробка усереднених даних за показниками важких металів

Статистичні дані	Мідь (Cu), мкгCu/дм³		Цинк (Zn), мкгZn/дм3		Кадмій (Cd), мкгCd/дм³		Залізо (Fe), мкгFe/дм³		Свинець (Pb), мкгPb/дм³	
	Роки спостереження									
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
Мінімальне значення	0,002	0,0018	0,001	0,0098	0,0020	0,0011	0,2270	0,1870	0,00130	0,0021
Максимальне значення	0,008	0,3172	0,2314	1,1180	0,0460	0,0131	0,8910	0,9620	0,20780	0,2526
Середнє арифметичне значення	0,0047	0,0837	0,0711	0,2143	0,0134	0,0059	0,3863	0,3834	0,08596	0,0728
Дисперсія, σ (стандартне відхилення)	0,002163	0,108795	0,087341	0,336753	0,01616	0,003927	0,208076	0,252096	0,086234	0,078973

Усереднені дані з 10 пунктів забору проб води, кожен пункт мав по 3 забори ($n=3$), кожен забір води мав три повторності визначення показника.

ДОДАТОК Д

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Строкаль В. П., **Гаць А. К.** Оцінювання водного середовища р. Унава за показниками сапробності. Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 6(57), 2024. С. 88-95. *(Гаць А. К. проведено літературний науковий пошук, роблено аналіз проб води та визначено статус сапробності водного середовища. Строкаль В. П. узагальнено висновки та рекомендації, зроблено діаграми та рисунки).*

2. Strokal V., & **Hats A.** Biogenic pollution of the Unava River waterbody. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 21(1), 2025. 9-27. *(Гаць А. К. проведено оцінювання водойми за біогенними речовинами, обґрунтовано методiku використання та проведений розрахунок RR на наявність встановленого переважаючого типу забруднення водойми. Строкаль В. П. узагальнено висновки, зроблено діаграми та рисунки).*

3. Строкаль В. П., **Гаць А. К.** Дефіцит якісної води для рибальства в річці Унава. Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 7(58), 2025. С. 216-225. *(Гаць А. К. проведено розрахунок індексу водного дефіциту за показниками кисневого балансу води, зроблено висновки. Строкаль В. П. розроблено рисунки та алгоритм статті).*

Тези наукових доповідей

1. **Гаць А. К.** Аналіз прогнозованих ризиків погіршення екологічного стану р. Унава. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія – філософія існування людства», (м. Київ, 23-24 квітня, 2025). Київ : НУБіП України, 2025. С. 36-37.

2. Войтенко Л. В., Копілевич В. А., Заленська Є. А., & **Гаць А. К.** Оцінка якості води для зрошення: методологія та практика. Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: зб. наук. пр. Херсон : ХДАЕУ, 2021. Вип. 3. С. 125-129. *(Гаць А. К. проведено літературний науковий пошук. Войтенко Л. В. розроблено методологію оцінювання якості води для зрошення. Копілевич В. А. зроблено аналіз використання методології, обґрунтовано практичне застосування методики. Заленська Є. А. доповнено літературний аналіз, роблено аналіз проб води та написано висновки).*

3. Voitenko L., **Hats A.**, Kopilevich V., Voitenko A. How to Unify Drinking Water Quality Assessment: Problems And Solutions. Second International Congress On Biological And Health Sciences. Abstract Book. 24-27 February, 2022. Turkey. P. 400. *(Hats A. (Гаць А. К.) проведено літературний науковий пошук та доповнено висновки. Voitenko A. розроблено алгоритм подачі результатів дослідження. Voitenko L. подано ідею розробити шкали бажаності для узагальненої продуктивності на основі ризику для здоров'я людини, також розроблено програму Python для обчислення узагальненої функції бажаності, які можуть включати необмежену кількість показників якості та властивостей питної води для людини, споживання тварин або птиці. Kopilevich V. наведено характеристику основних водно-екологічних проблем).*

4. Voitenko L., Zalenska E., **Hats A.**, Korniyshuk O., Skrypets B., Voitenko A.. Development of agricultural water quality indices for Ukraine. Book of Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2022». Jahorina, Bosnia and Herzegovina. October 06-09, 2022. P. 889-897. *(Hats A. (Гаць А. К.) проведено літературний науковий пошук, сформовано висновки. Voitenko L. розроблено програму Python «WODA» (Water Of Different Application) для розрахунку оцінки якості води для різних категорій водоспоживання. Zalenska E. опрацьовано теоретичний матеріал. Korniyshuk O. створено таблицю «Оцінка якості води для зрошення: двостороннє обмеження для параметрів, що мають оптимальний діапазон*

для розрахунку функції бажаності Харрінгтона». Skrypets B. сформовано таблицю «Розрахунок *WQI* для рибальства». Voitenko A., було створено структурно-логічну схему складання *WQI* для різних ділянок води з використанням в сільське господарство).

5. Voitenko A., Voitenko L., **Hats A.**, Skrypets B. Drinking Water Quality Index: A Useful Tool For Integrated Assessment of Drinking Source Suintability. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки». 25-26 жовтня 2022 р. Київ : НУХТ, 2022. С. 23-25. (*Hats A. (Гаць А. К.)* проведено літературний науковий пошук, наведено характеристику основних водно–екологічних проблем. *Voitenko L.* проведено аналіз індексу якості питної води. *Voitenko A.* розроблено алгоритм подачі результатів дослідження. *Skrypets B.* сформовано етапи наступних досліджень).