




original article | UDC 504.45.058 | doi: 10.31210/visnyk2021.02.15

SCIENTIFIC FUNDAMENTALS OF FORMING REGIONAL ADAPTIVE STRATEGY OF HYDROSYSTEM MANAGEMENT (ON THE EXAMPLE OF THE VORSKLA RIVER IN POLTAVA REGION)


P. V. Pysarenko

ORCID  [0000-0002-4915-265X](https://orcid.org/0000-0002-4915-265X)


M. S. Samoilik

ORCID  [0000-0003-2410-865X](https://orcid.org/0000-0003-2410-865X)

*A. O. Taranenko**

ORCID  [0000-0002-1305-939X](https://orcid.org/0000-0002-1305-939X)

Yu. A. Ts'ova

ORCID  [0000-0002-4915-265X](https://orcid.org/0000-0002-4915-265X)

M. M. Prystavs'kyy

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody Str., Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: anna.taranenko@pdaa.edu.ua

How to Cite

Pysarenko, P. V., Samoilik, M. S., Taranenko, A. O., Ts'ova, Yu. A., & Prystavs'kyy, M. M. (2021). Scientific fundamentals of forming regional adaptive strategy of hydro-system management (on the example of the Vorskla river in Poltava region). Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (2), 124–134. doi: 10.31210/visnyk2021.02.15

The article deals with investigating chemical, physical-chemical and hydro-biological parameters of water in the Vorskla. The relationship between anthropogenic loading and water quality has been established. The direct relationship between N, P content in water and the development of blue-green algae has also been determined. The resistance of aquatic ecosystems to anthropogenic eutrophication in four areas of the Vorskla was assessed. The areas having better production processes were singled out. Area T.1 of the Vorskla is capable of self-cleaning. The aquatic ecosystem of T.2-T.4 areas produces more organic matter than it can decompose, which reduces its ability to self-purification and intensifies eutrophication processes. The reduction of anthropogenic loading on the studied sections of the Vorskla was estimated by the P/D ratio. On the basis of the obtained results agro-ecological recommendations for regulating eutrophication of water systems were developed for the existing, optimal and perspective scenarios and their economic efficiency was determined. According to the current scenario, the damage from water pollution makes UAH 62 million annually. The optimal scenario (during 2022–2030) includes the following measures: the use of probiotics (the total amount of 720 kg in 4 areas during 5 years); construction of modern wastewater purification systems with using probiotics); reduction of wastewater from cesspits (by using bio-preparations and replacing them with septic preparations). The perspective scenario (for 2030–2040) includes the following measures: construction of rainwater and melt water collection system; cleaning of bottom sediments by using hydro-biological methods; re-cultivation of solid domestic wastes landfills (by liming and using of probiotics). To solve the top-priority measures of the 1-st stage, UAH 43 million are necessary. The approximate implementation period is 8 years. After implementing these methods, the damage from water pollution will be reduced by 85 % and will amount to UAH 9.3 million. The implementation of optimal measures covers the losses in the amount of UAH 52.7 million and will have the economic efficiency of UAH 9.7 million per year. During 8 years of implementing measures, the economic effect will make about UAH 378.6 million. UAH 70.8 million is necessary to fulfill all perspective measures. The compensation of losses from water pollution as a result of implementing these measures makes 15 % (UAH 9.3 million). Improving the aquatic ecosystem of the Vorskla river will enable to reduce the

environmental risks to public health, promote the development of recreation and fisheries (social and economic effect).

Key words: *eutrophication, aquatic ecosystem, primary products, destruction of organic matter, economic effect.*

НАУКОВІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ГІДРОСИСТЕМОЮ (НА ПРИКЛАДІ Р. ВОРСКЛИ В МЕЖАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

П. В. Писаренко, М. С. Самойлік, А. О. Тараненко, Ю. А. Цьова, М. М. Приставський

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Проведено дослідження хімічних, фізико-хімічних та гідробіологічних показників на різних ділянках р. Ворскли. На досліджуваних ділянках річки встановлена залежність між антропогенним навантаженням та якістю води. Визначено пряму залежність між вмістом у воді азоту та фосфору та розвитком водоростей. Проведена оцінка стійкості водних екосистем до антропогенної евтрофікації на чотирьох ділянках р. Ворскли. Виділені ділянки з перевагою продукційних процесів. На ділянці Т.1 гідросистема р. Ворскли здатна до самоочищення. На ділянках Т.2-Т.4 гідросистема продукує більше органічної речовини, ніж може розкласти, що знижує її здатність до самоочищення, посилює процеси евтрофікації. Проведена оцінка зменшення антропогенного навантаження на ділянках р. Ворскли за P/D-відношенням. На основі отриманих результатів розроблені агроекологічні рекомендації регулювання евтрофікації водних систем для існуючого, оптимального та перспективного сценарію та визначено їхню економічну ефективність. Існуючий сценарій – збиток від забруднення водного середовища складає 62 млн грн щорічно. Оптимальний сценарій (2022–2030 рр.) включає заходи: використання пробіотику (протягом 5 років у 4 точках загальним обсягом 720 кг); будівництво сучасних систем очистки стічних вод з використанням пробіотичних препаратів; зменшення скидів від вигрібних ям (за рахунок використання біопрепаратів та заміна їх на септики). Перспективний сценарій (2030–2040 рр.) – побудова системи збору дощових і талих вод, очистка донних відкладень з використанням гідробіологічних методів, рекультивация звалища ТПВ (методом вапнування та використання пробіотику). Для вирішення першочергових заходів (I етап) необхідно 43 млн грн. Орієнтовний термін реалізації – 8 років. При реалізації даних методів збиток через забруднення водного середовища зменшиться на 85 % і складатиме 9,3 млн грн. Реалізація оптимальних заходів покриває збиток у розмірі 52,7 млн грн та матиме економічну ефективність – 9,7 млн грн за рік. За 8 років економічний ефект складатиме 378,6 млн грн. Для реалізації перспективних заходів необхідно 70,8 млн грн. Покриття збитку за забруднення водного середовища від реалізації даних заходів складає 15 % (9,3 млн грн.). Поліпшення гідросистеми дасть змогу зменшити екологічні ризики здоров'я населення, сприятиме розвитку рекреації, рибного господарства (соціально-економічний ефект).

Ключові слова: *евтрофікація, водна екосистема, первинна продукція, деструкція органічної речовини, економічний ефект.*

Вступ

Низька стійкість водних об'єктів урбанізованих територій до постійного антропогенного навантаження призводить до зниження здатності гідробіоценозів до самовідновлення. Внаслідок цього водні об'єкти мають високий рівень хімічного і бактеріологічного забруднення та непридатні для господарсько-побутового та рекреаційного використання. Наприклад, евтрофікація водоймищ, яка пов'язана з підвищеним вмістом азоту та фосфору, «цвітінням» водоростей, їхнім накопиченням, відмиранням, розкладанням із інтенсивним поглинанням кисню з води є наслідком перенасичення ґрунтів і водойм хімікатами. Це явище спричиняє задуху водойм та призводить до загибелі водної фауни.

Питання оцінки екологічного стану якості води та процесів евтрофікації водних екосистем вивчалось багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями, зокрема М. Келлі [1], Г. Г. Вінбергом [2], М. М. Ганущак [3], А. В. Гриценком [4], В. Карігнаном [5], М. О. Клименком [6–7], В. Й. Мельник [8], В. Б. Мокінін [9], П. В. Писаренком [10–12], А. В. Яциком [13], О. М. Скулбергом [14], С. І. Сніжком [15], Дж. Ферейрою [16], Дж. Хлоерном [17],

О. І. Цибульським [18] та іншими. Однак потребують подальшого розвитку дослідження з виявлення регіональних особливостей антропогенної евтрофікації водойм.

Аналіз системи моніторингу поверхневих вод України свідчить про те, що цей компонент системи державного моніторингу довілля потребує удосконалення. В екологічному і геоекологічному моніторингах водного середовища відсутня практика використання показників швидкостей і інтенсивностей обмінних процесів. Тому важливо посилити цей складник моніторингу поверхневих вод України за допомогою включення в його постійний склад продукційно-деструкційного коефіцієнту. Коефіцієнт визначається як відношення первинної продукції органічної речовини до її деструкції (P_v/D). Якщо $P_v/D < 1$, то система здатна до самоочищення та має стійкість до навантаження на неї; якщо $P_v/D > 1$, то система більшою мірою продукує органічну речовину, ніж може розкласти [19]. Отже, виникає необхідність у формуванні наукових засад комплексної системи регулювання процесу евтрофікації водних систем, зважаючи на регіональні особливості, зокрема продукційно-деструкційні відношення гідросистеми для ідентифікації рівня забруднення.

Метою статті стало формування наукових засад комплексної системи регулювання процесу евтрофікації водних систем за рахунок включення продукційно-деструкційних відносин гідросистеми для ідентифікації рівня забруднення, а також новітні екологобезпечні методи регулювання процесу евтрофікації водних систем, як необхідну умову сталого розвитку гідросистем. Для цього необхідно розробити адаптивну стратегію управління гідросистемою (на прикладі р. Ворскли) для існуючого, оптимального та перспективного сценарію розвитку. Це дасть змогу визначати екологобезпечні методи регулювання процесу евтрофікації водних систем з пріоритетом регіональних екологічних імперативів.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження процесу евтрофікації води проводилися у річці Ворсклі в межах м. Полтави та у його передмістях. Розміщення ділянок: № 1 (Т. 1) – с. Петрівка, Полтавського р-ну; № 2 (Т. 2) – м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; № 3 (Т. 3) – м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; № 4 (Т. 4) – с. Нижні Млини, передмістя м. Полтава. Проби води відбиралися в період червень-липень на глибині 0,2–0,5 м від поверхні водойми, між 12:00 та 17:00 годинами. Всього відібрано 72 проби. Фіксація розчиненого кисню проводилася в кожній відібраній пробі на місці.

У процесі дослідження використовували теоретичні (аналіз, синтез, системний аналіз) та прикладні (польові, лабораторні) методи досліджень. Визначення основних фізико-хімічних показників якості води проводили згідно із загальноприйнятими методиками показників. Достовірність результатів забезпечувалась внутрішньо-лабораторним контролем визначення похибок складу проб води, впровадженням програмного обчислення результатів досліджень та побудови калібрувальних графіків на комп'ютері, неодноразовою участю в міжлабораторних та міжнародній інтеркалібраціях контролю якості вимірювань.

Визначення величини валової первинної продукції проводили кисневим методом в умовах «*in situ*». Розрахунок валової первинної продукції проводили за формулою [20]:

$$P_e = (V_c - V_m) / t, \quad (1)$$

де: P_e – валова первинна продукція, мгО₂/дм³ · год;

V_c – вміст кисню у світлій склянці після експонування, мгО₂/дм³;

V_m – вміст кисню в темній склянці після експонування, мгО₂/дм³;

t – час, години.

Деструкція (D) фітопланктону водної системи р. Ворскли розрахована за різницею вмісту розчиненого кисню в початковій і темній склянках за [8]:

$$D = (V_{c(поч.)} - V_m) / t, \quad (2)$$

де: D – деструкція, мгО₂/дм³ · год;

$V_{c(поч.)}$ – початковий вміст кисню у склянці перед експонування, мгО₂/дм³;

V_m – вміст кисню в темній склянці після експонування, мгО₂/дм³;

t – час, години.

Результати досліджень та їх обговорення

1. Оцінка стійкості водних екосистем до антропогенної евтрофікації на досліджуваних ділянках р. Ворскли

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

Відповідно до Водного Кодексу України (від 6 червня 1995 року №213/95-ВР) в контексті екологічного моніторингу контроль природного середовища ґрунтується на гранично допустимих концентраціях забруднюючих речовин. Одним із найпростіших способів оцінки евтрофікації водойми є перевірка перевищення фактичними концентраціями забруднюючих речовин ГДК, зокрема біогенних елементів [21]. У результаті дослідження виявлена чітка залежність між антропогенним навантаженням та якістю води на відповідних ділянках (рис. 1–2).



Рис. 1. Фізико-хімічні показники досліджуваних ділянок річки Ворскли (2019 р.)

Позначення: 1 - температура, °С; 2 - кольоровість, градуси; 3 - рН; 4 - ХСК, мгО/дм³; 5 - БПК₅, мгО/дм³; 6 - нітрат-іони, мг/дм³; 7 - нітрит-іони, мг/дм³; 8 - амоній-іони у перерахунку на азот амонійний, мг/дм³; 9 - свинець, мг/дм³; 10 - марганець, мг/дм³; 11 - залізо загальне, мг/дм³; 12 - сухий залишок, мг/дм³; 13 - мідь, мг/дм³; 14 - сульфати, мг/дм³; 15 - нафтопродукти, мг/дм³; 16 - розчинний кисень; 17 - фенол, мг/дм³; 18 - фосфат-іони у перерахунку на мінеральний фосфор, мг/дм³; 19 - вміст водоростей.

Режим біогенних елементів розглядається як вихідний показник потенціальної евтрофікації. Як показують результати проведених досліджень води, в різних ділянках річки Ворскли існує залежність між вмістом азоту у воді та розвитком водоростей (рис. 3). Так, чим вищий вміст у воді азоту й фосфору, тим масовішим є розвиток водоростей, що, відповідно, посилює процес евтрофікації. Найбільш інтенсивний процес евтрофікації характерний для ділянок Т.3 і Т.4, де вміст фітопланктону перевищує відповідні значення на ділянці Т.1 у 1,9 та 1,7 разів відповідно.

Вміст розчиненого у воді кисню входить до основних показників, що визначають поверхневі води як ресурс і розглядається як визначальний фактор для прогнозування кисневого режиму. Середній вміст розчиненого у воді кисню на досліджуваних ділянках 2018 року був у діапазоні 4,50±0,14–5,91±0,34 мгО₂/дм³. Найбільші значення зафіксовані у Т.1 (с. Петрівка, Полтавського р-ну). 2019 року вміст розчиненого кисню перебував у діапазоні 4,50±0,14–6,12±0,44 мгО₂/дм³. 2020 року цей показник склав 4,30±0,11–5,01±0,21 мгО₂/дм³.

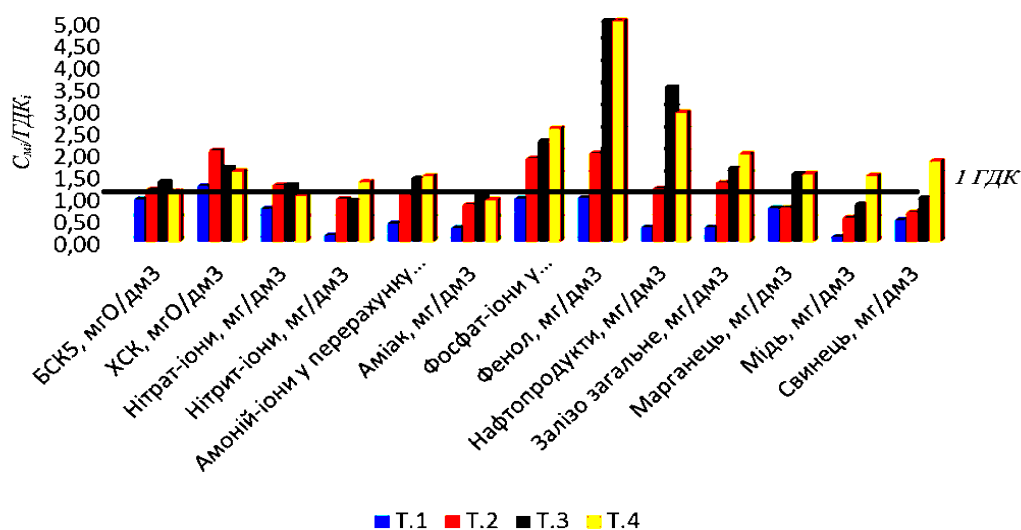


Рис. 2. Результати порівняння фактичних значень зі значеннями ГДК ($C_{mi}/ГДК_i$) досліджуваних показників на ділянках р. Ворскли

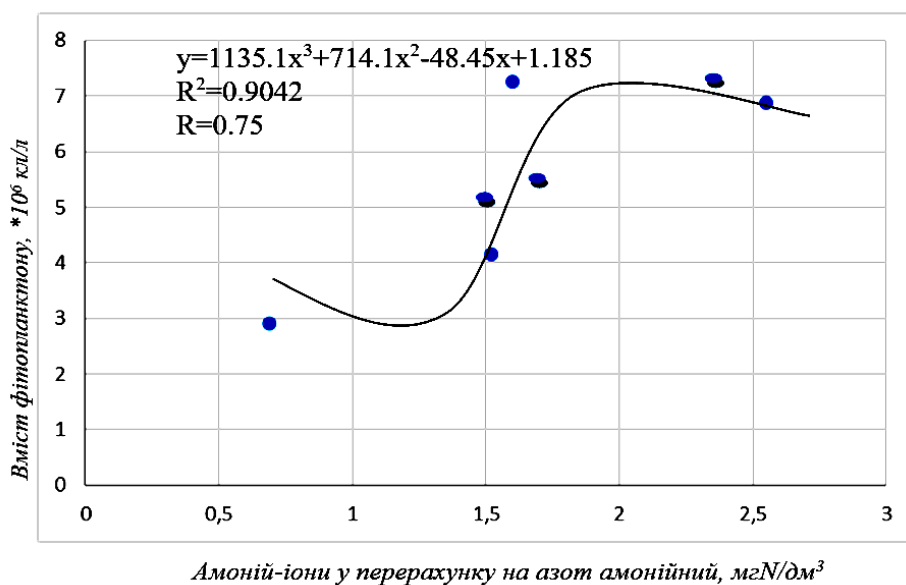


Рис. 3. Залежність між вмістом фітопланктону та азоту амонійного (середнє значення 2018–2020 рр.)

Дослідження вмісту розчиненого кисню протягом року дозволило встановити, що найменше його значення зафіксовано влітку, коли відбувається інтенсивний ріст фітопланктону, найбільше значення – взимку, коли ріст фітопланктону призупиняється. Також дослідження свідчать, що показники вмісту розчиненого кисню у воді річки Ворскли найбільші в період між 12 та 16 годинами дня.

Результати досліджень (усереднені дані 2018–2020 р., червень-липень) фіксують, що валова первинна продукція води (P) р. Ворскли в динаміці в межах м. Полтави становила від $0,50 \pm 0,001$ до $2,10 \pm 0,08$ $\text{мгO}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{год}$. Найбільші її значення визначені на ділянці Т.3, найменші – на ділянці Т.1. Значення деструкції (D) у р. Ворскли в межах м. Полтави становило від $0,55 \pm 0,002$ до $0,90 \pm 0,007$ $\text{мгO}_2/\text{дм}^3 \cdot \text{год}$. Виділені ділянки з перевагою продукційних процесів – Т.3, Т.4. Саме органічна речовина автотрофних організмів забезпечує функціонування трофічних рівнів, біотичний колообіг речовин і потік енергії в екосистемах, а переважання продукції над деструкцією приводить до евтрофікації. Значення продукційно-деструкційного коефіцієнту для досліджуваних ділянок р. Ворскли наведено на рис. 4.

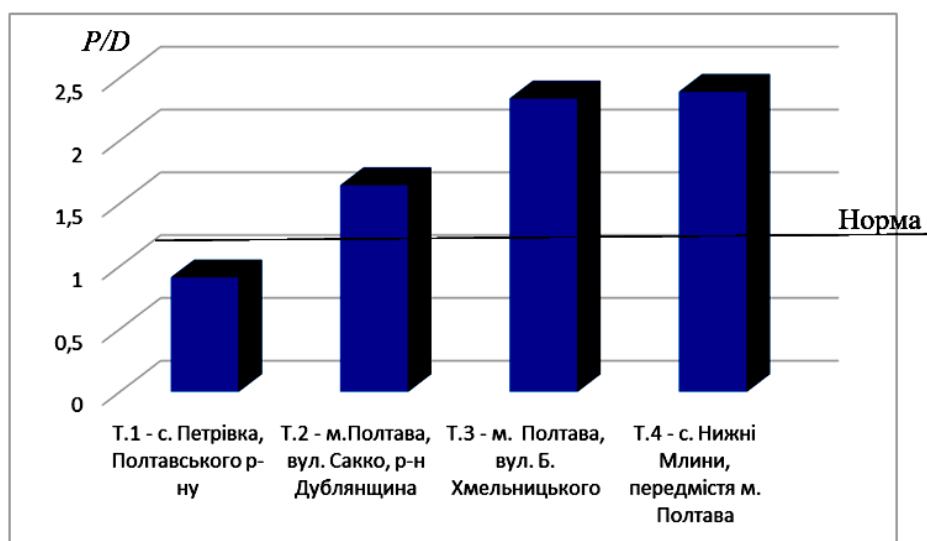


Рис. 4. Продукційно-деструкційний коефіцієнт
(середнє значення 2018–2020 рр.)

У результаті досліджень обґрунтовано, що тільки водна екосистема ділянки Т.1 р. Ворскла здатна до самоочищення та має стійкість до антропогенного навантаження, водні екосистеми ділянок Т.2–Т.4 більшою мірою продукують органічну речовину, ніж можуть розкласти, що характеризується збільшенням маси фітопланктону, зниженням здатності системи до самоочищення та посиленням процесів евтрофікації. Все це потребує розробки системи регулювання процесів евтрофікації на цих ділянках водного об'єкту.

Результати дослідження показали, що інтенсифікація процесу евтрофікації водної екосистеми обумовлюється наявністю антропогенних джерел на досліджуваних ділянках.

2. Екологічно безпечні методи регулювання процесу евтрофікації водних екосистем досліджуваних ділянок р. Ворскли

Ділянка №1: Т.1, с. Петрівка, Полтавського р-ну. Наявними джерелами антропогенного навантаження є: сільськогосподарські угіддя (поверхневий стік з полів біогенних елементів); децентралізоване забруднення води від вигрібних ям (біогенні елементи, марганець та ін. мікроелементів). Розглянемо сценарії зменшення антропогенного навантаження на цій ділянці.

Сценарій 1 (існуючий). Існуюча ситуація зберігається. Натепер $P/D \approx 1$, що вказує на здатність системи до самовідновлення. Подальше накопичення забруднюючих речовин може привести до накопичення їх у донних відкладеннях, збільшення коефіцієнту P/D -відношення, зменшення можливостей водної системи до самоочищення.

Сценарій 2 (оптимальний). Внесення перед початком масового цвітіння водостей (у червні) пробіотику (розбавлення 1 : 100). Враховуючи, що вище по течії річки значні антропогенні джерела відсутні, розрахункова кількість пробіотику становить 50 кг (досліджувана ділянка шириною 7 м та середньою глибиною 3 м) [12]. Оцінка сценаріїв зменшення антропогенного навантаження на ділянці (Т.1) за P/D -відношенням зображена на рис. 4 а).

Сценарій 3 (перспективний) передбачає зниження зовнішнього навантаження на водну екосистему, які стимулюють процес евтрофікації; зменшення внутрішнього навантаження на водний об'єкт, що включає акумуляцію забруднюючих речовин (органічних речовин, важких металів) донними відкладеннями. Зовнішнє навантаження на водну екосистему можна зменшити за рахунок використання природних бар'єрів (очерет, осока, рогіз) та висаджування їх по береговій лінії [8; 22]. Для зменшення вірогідності вторинного забруднення водної системи від донних відкладень, а саме розміщених у них органічних речовин та важких металів, рекомендовано видаляти донні відкладення. При використанні такого методу дещо збільшується глибина водойми та неминучий збиток донній фауні водного об'єкту. Для регулювання «цвітіння» води в р. Ворсклі може бути використаний прийом з використанням ячмінної соломи як інгібітора розвитку ціанобактерій.

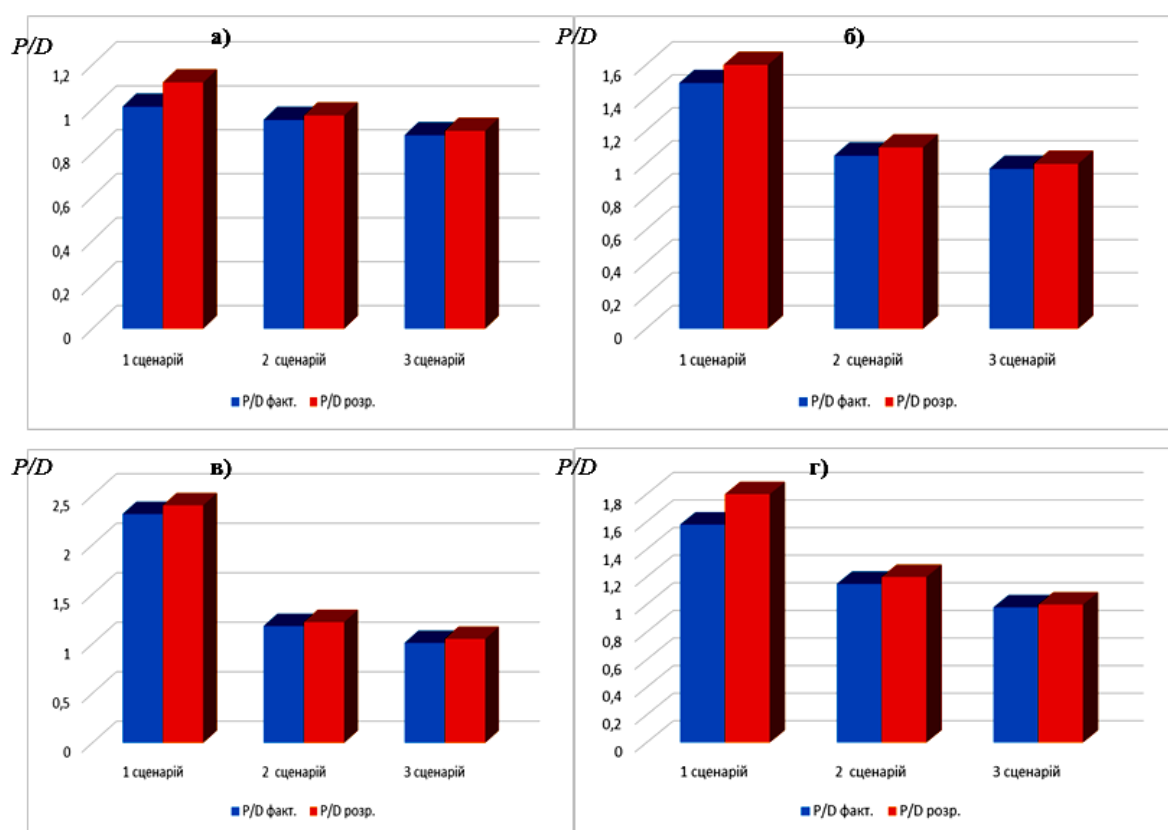


Рис.4. Оцінка сценаріїв зменшення антропогенного навантаження на досліджуваних ділянках р. Ворскли за P/D-відношенням.

Позначення: а - на ділянці Т.1; б - на ділянці Т.2; в- на ділянці Т.3; г- на ділянці Т.4.

Цей метод є найбільш екологічно безпечним та використовується в багатьох країнах. Дані модельних експериментів [23] свідчать про високу активність продуктів розкладання соломи щодо нитчастих водоростей. Використання ячмінної соломи вважається успішним способом боротьби із «цвітінням» води без будь-яких небажаних побічних ефектів.

Також може бути застосований метод, описаний у роботах [24, 25]. На першому пропонується зміна співвідношення азоту до фосфору в бік його збільшення. На другому етапі заселення у водойму рослиноїдної риби (білого амуру і строкатого товстолобика). У ціанобактерій і діатомових водоростей оптимальним вважається відношення азоту до фосфору від двох до п'яти. Збільшення цього відношення призводить до пригнічення цвітіння ціанобактерій і домінування протококкових зелених мікроводоростей. Необхідне збільшення досягається за рахунок додавання в евтрофіковані водойми сполук азоту. На другому етапі пропонується інтродукція у водойму фітопланктоїдних риб, які переводять надлишкову первинну продукцію у вторинну продукцію риб. Запропонований метод регуляції евтрофікації (зміна домінування ціанобактерій на переважання зелених водоростей) застосовується для рекреаційних водойм та для сільської місцевості.

Ділянка № 2: Т.2, м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина. Основне антропогенне навантаження становить централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод; неочищені дощові і талі води (відсутність їх централізованого збору і очистки).

Сценарій 1 (існуючий). Існуюча ситуація зберігається. Коефіцієнт $P/D = 1,50$, що вказує на те, що система більшою мірою продукує органічну речовину, ніж може розкласти. Тому в період з червня по вересень водна екосистема має високий рівень фітопланктону, що супроводжується «цвітінням» водойми. Накопичення біогенних елементів, забруднюючих речовин створює сприятливі умови для росту фітопланктону, зменшенню вмісту кисню у водоймі, збільшенню мутності та зниженню здатності до самоочищення водної екосистеми. Такий варіант сприятиме погіршенню якості води у досліджувані ділянці р. Ворскли (рис. 4б).

Сценарій 2 (оптимальний) передбачає внесення перед початком масового цвітіння пробіотику (130 кг; розбавлення 1 : 50). Для зменшення локального надходження з водозбору біогенних елементів, зокрема азоту, рекомендується будівництво сучасних систем очистки стічних вод, що включають первинну, вторинну та біологічну систему очистки. Первинна очистка рекомендується у вигляді встановлення відстійників. Як реагенти запропоновані пробіотичні препарати (концентрації 0,31 г/м³ з поступовим зниженням концентрації до 20 %) [26]. Використання біологічних реагентів дозволить нейтралізувати вторинне забруднення водних систем. Додавання пробіотику доцільно здійснювати також при вторинній та біологічній очистці стічних вод. Як показали дослідження [27], застосування пробіотичних препаратів порівняно з хімічними реагентами покращують хімічні (БПК_{повн}, ХПК, азот амонійний, зважені речовини) та гідробіологічні показники. Для передбачення забруднення води речовинами, що сприяють евтрофікації, необхідно проводити постійний контроль у місці централізованого скиду стічних вод за показниками: БСК_{повн}, ХСК, азот амонійний, фосфати, зважені речовини, важкі метали (свинець, марганець), залізо.

Одним із екологічних препаратів, які сьогодні використовуються в Україні, є біопрепарати Світеко–ОС. Витрата препарату становить 1 г на 7 м³ стічних вод [10].

Сценарій 3 (перспективний). З метою зменшення надходжень у водойму органічних речовин, важких металів, біогенних елементів, передбачає створення в м. Полтаві та передмісті системи збору талих та дощових вод та організацію їхньої подальшої очистки, зміцнення берегів водойми. Інші заходи є аналогічними для перспективного сценарію для ділянки Т.1.

Ділянка № 3: Т.3, м. Полтава, вул. Б. Хмельницького. Основними джерелами антропогенного забруднення є: централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод; нецентралізовані скиди в районі розміщення залізничного вокзалу; потрапляння неочищених дощових і талих вод (відсутність їх централізованого збору і очистки); нецентралізовані скиди житлових будинків та закладів суспільно-господарського призначення.

Сценарій 1 (існуючий). Продукційно-деструкційний коефіцієнт ($P/D=2,31$) вказує на значні евтрофікаційні процеси на цій ділянці річки. Збереження існуючої ситуації неможливе, адже водна система виступає вторинним джерелом забруднення довкілля (рис. 4в).

Сценарій 2 (оптимальний) передбачає внесення пробіотику (170 кг перед початком масового цвітіння, розбавлення 1 : 50). [10]. Для зменшення локального надходження з водозбору біогенних елементів, зокрема азоту, рекомендується будівництво новітніх систем очистки стічних вод аналогічно на ділянці Т.2; локалізація забруднення від вигрібних ям (аналогічно ділянці Т.1). Можливе використання різних біопрепаратів, зокрема Світеко – ОС. Заміна вигрібних ям септиками – спорудами для очищення невеликих об'ємів стічних вод (до 25 м³/добу), проектування яких виконується згідно із СНіП 2.04.03-85.

Сценарій 3 (перспективний) передбачає аналогічні заходи для ділянки Т.2: централізований збір та очищення дощових і талих вод, організація централізованого водовідведення від житлових будинків та об'єктів суспільно-господарського призначення, встановлення локальних систем очистки з моніторингом фіксованих показників (БСК_{повн}, ХСК, азот амонійний, фосфати, зважені речовини, важкі метали (свинець, марганець), залізо) у точці збору.

Ділянка № 4: Т.4 м. Нижні Млини, передмістя, м. Полтава. Ділянка розміщена вниз по течії на відміну від попередніх трьох точок (рис. 1). Основними джерелами антропогенного забруднення є: вигрібні ями, нецентралізований стік дощових і талих вод, звалище ТПВ (с. Макухівка). Забруднення від звалища надходять у р. Коломак, яка далі впадає у р. Ворсклу (у районі с. Нижні Млини).

Сценарій 1 (існуючий). Продукційно-деструкційний коефіцієнт $P/D = 1,58$ вказує на значні евтрофікаційні процеси на цій ділянці річки. Водночас вони дещо нижчі, ніж на ділянці Т.3, що можна пояснити розбавленням забруднюючих речовин на цій ділянці річки. Враховуючи, що система більшою мірою продукує органічну речовину, ніж може розкласти, наявний високий рівень фітопланктону, що спричиняє евтрофікацією водойми. Такий варіант сприяє погіршенню якості водної системи (рис. 4 г).

Сценарій 2 (оптимальний). Передбачає внесення пробіотику (370 кг, розбавлення 1 : 50) [10]. За даними [28] спостерігається перевищення ГДК вмісту важких металів (свинець у 10,5 разів, ртуть у 54 рази, марганець у 28 разів) у воді р. Коломак у ділянці розміщення звалища ТПВ. Розв'язання цього питання, як зазначено у [30, 31], можливе за рахунок закриття і рекультивації цього звалища. Нейтралізувати вплив звалища, як зазначають науковці ПДАА [12, 29], можна за рахунок вапнування та використання біопрепаратів (пробіотиків), а в подальшому – фіторе mediaцією звалища.

Сценарій 3 (перспективний) передбачає аналогічні заходи ділянок Т.1, Т.2 і Т.3: централізований збір та очищення дощових і талих вод; організація централізованого водовідведення від житлових будинків та об'єктів суспільно-господарського призначення; встановлення локальних систем очистки з моніторингом фіксованих показників у точці збору; очистка донних відкладень, використання гідробіологічних методів очистки.

3. Економічна ефективність агроекологічних рекомендацій щодо регулювання евтрофікації водних систем.

За існуючим сценарієм збиток від забруднення водного середовища складає 62 млн грн щорічно; Оптимальний сценарій (2022–2030 рр.) включає заходи: додавання пробіотику протягом 5 років у 4 точках загальним обсягом 720 кг; будівництво новітніх систем очистки стічних вод з використанням пробіотичних препаратів; зменшення скидів від вигрібних ям за рахунок використання біопрепаратів та заміна їх на септики. Перспективний сценарій (2030–2040 рр.) включає заходи гідробіологічні методи очистки, побудову системи збору дощових і талих вод, очистку донних відкладень, рекультивування звалища ТПВ з використанням методу вапнування та пробіотику. Для вирішення першочергових заходів (1 етап) необхідно 43 млн грн. Орієнтовний термін реалізації – 8 років. Після реалізації цих методів збиток через забруднення водного середовища орієнтовно зменшиться на 85 % і складатиме 9,3 млн грн. Реалізація оптимальних заходів покриває збиток розміром 52,7 млн грн і складає економічну ефективність – 9,7 млн грн за один рік. Економічний ефект за 8 років складає 378,6 млн грн. Для реалізації перспективних заходів необхідно 70,8 млн грн. Покриття збитку через забруднення від реалізації цих заходів складе 15 %, тобто 9,3 млн грн. Водночас проведення заходів із запобігання евтрофікації водойми дозволить зменшити екологічні ризики здоров'ю населення, сприятиме розвитку рекреації, рибного господарства, що дасть змогу покрити зазначені витрати та матиме значний соціально-економічний ефект.

Висновки

Проведена оцінка стійкості водних екосистем до антропогенної евтрофікації на чотирьох ділянках р. Ворскли. Розроблені рекомендації регулювання евтрофікації водних систем для існуючого, оптимального та перспективного сценарію. Проведена оцінка зменшення антропогенного навантаження на ділянках р. Ворскли за P/D-відношенням. Після реалізації зазначених методів збиток через забруднення водного середовища орієнтовно зменшиться на 85 %. Покриття збитку через забруднення від реалізації перспективних заходів складе 15 %. Це дасть змогу зменшити екологічні ризики здоров'ю населення, а також мати значний соціально-економічний ефект.

Перспективи дослідження. На основі проведеного дослідження на прикладі р. Ворскли передбачається розробка методичних рекомендацій щодо формування адаптивної стратегії управління гідросистемою, зважаючи на регіональні особливості. Це дасть можливість реалізовувати завдання, зазначені в Указі Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (від 30 вересня 2019 року № 722/2019), де стале управління водними ресурсами визначено як одна із пріоритетних цілей сталого розвитку України.

References

1. Kelly, M. G., & Whitton, B. A. (1998). Biological monitoring of eutrophication in rivers. *Hydrobiologia*, 384, 55–67.
2. Vinberg, G. G. (1983). Biologicheskaya produktivnost vodoemov. *Ekologiya*, 3, 3–12 [In Russian].
3. Hanushchak, M. M. (2015). Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod baseinu r. Styr. *Hidrolohiia, Hidrokhiimiia, Hidroekolojiia*, 1 (36), 100–118 [In Ukrainian].
4. Hrytsenko, A. V., Vasenko, O. H., & Vernichenko, H. A. (2012). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnyy katehoriiamy*. Kharkiv: UkrNDIEP [In Ukrainian].
5. Carignan, V., & Villard, M.A. (2017). Selecting indicator species to monitoring ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78, 45–61. doi: 10.1023/a:1016136723584
6. Klymenko, M. O., & Biedunkova, O. O. (2008). *Kruhoobih vazhkykh metaliv u vodnykh ekosystemakh*. Rivne [In Ukrainian].
7. Klymenko, O. M., & Statnyk, I. I. (2012). *Metodolojiia pokrashchennia ekolohichnoho stanu richok Zakhidnoho Polissia (na prykladi r. Horyn): monohrafiia*. Rivne [In Ukrainian].

8. Melnyk, V. Y., & Tolochoyk, I. L. (2017). Suchasnyi stan yakosti vody v r. Styr v mezhakh Rivnenskoï oblasti. *Naukovyi Visnyk Skhidnoievropeiskoho Natsionalnoho Universytetu im. L. Ukrainky*, 7 (356), 90–94 [In Ukrainian].
9. Mokin, V. B. (2005) *Matematychni modeli dlia kontroliu ta upravlinnia yakistiu richkovykh vod*. Vinnytsia [In Ukrainian].
10. Pysarenko, P. V., & Korchahin, O. P. (2020). Ekolohichne obgruntuvannya rehuliuвання protsesiv evtrofikatsii vodnykh ob'ektiv. *Tavriyskiy Visnyk*, 114, 274–283. doi: 10.32851/2226-0099.2020.114.33 [In Ukrainian].
11. Pysarenko, P. V., & Korchahin, O. P. (2019). Prohnozuvannya protsesiv evtrofikatsii vodoim na prykladi richky Vorskla. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 3, 103–110. doi: 10.31210/visnyk2019.03.13 [In Ukrainian].
12. Pisarenko, P. V., & Korchagin, O. P. (2019). Phytotoxic assessment of sewage treatment methods in disposal sites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 341, 012002. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012002
13. Yatsyk, A. V., Kanash, O. P., & Stashuk, V. A. (2007). *Metodyka rozrakhunku antropohennoho navantazhennia i klasyfikatsii ekolohichnoho stanu basiniv malykh richok Ukrainy*. Kyiv: UNDIVEP [In Ukrainian].
14. Skulberg, O. M. (2005). Cyanobacteria/cyanotoxin research-Looking back for the future: The opening lecture of the 6th ICTC, Bergen, Norway. *Environmental Toxicology*, 20 (3), 220–228. doi: 10.1002/tox.20101
15. Snizhko, S. I. (2001). *Otsinka ta prohnozuvannya yakosti pryrodnykh vod*. Kyiv: Nika-Tsentr [In Ukrainian].
16. Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso da Silva, M., Garcés, E., Heiskanen, A.-S., Humborg, C., Ignatiades, L., Lancelot, C., Menesguen, A., Tett, P., Hoepffner, N., & Claussen, U. (2011). Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European marine strategy framework directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93 (2), 117–131. doi: 10.1016/j.ecss.2011.03.014
17. Cloern, J. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253. doi: 10.3354/meps210223
18. Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2006). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 51 (1, 2), 351–355. doi: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351
19. Tsybul'skyi, O. I. (2017). Uhrupuvannya hidrobiontiv yak pokaznyk ekolohichnykh ryzykiv zabrudnennia richok Ukrainy. *Extended abstract of candidate's thesis*. Instytut hidrobiolohii NAN Ukrainy. Kyiv [In Ukrainian].
20. Bulon, V. V. (1994). *Zakonomernosti pervichnoj produktsii v limnicheskikh ekosistemah*. Nauka [In Ukrainian].
21. Vinberg, G. G. (1960). *Pervichnaya produkciya vodoemov*. Minsk [In Ukrainian].
22. Natsionalna ekolohichna polityka Ukrainy: otsinka i stratehiia rozvytku. Dokument pidhotovleno v ramkakh proektu PROON (2007). In: *HEN «Otsinka natsionalnoho potentsialu v sferi hlobalnoho ekolohichnoho upravlinnia v Ukraini»*. Kyiv: Heneza [In Ukrainian].
23. Trylys, V. V., Sereda, T. M., & Savytskyi, O. L. (2015). Nadkhodzhenia orhanichnykh rehovyn v richkovu ekosystemu (na prykladi modalnoi dilianky r. Vita). *Naukovi Zapysy Ternopil'skoho Natsionalnoho Pedahohichnoho Universytetu. im. V. Hnatiuka*, 3–4 (64), 648–651 [In Ukrainian].
24. De Pauw, N., Hawkes, H. A., Walley, W. J., & Judd, S. (1993). Biological monitoring of river water quality. *River Water Quality Monitoring and Control*, 87–111.
25. Solovei, T. V. (2004). Otsinka vplyvu hidrolohichnykh chynnykiv na yakist vody richok basynu verkhnoho Prutu v malovodnyi period roku. *Extended abstract of candidate's thesis*. Chernivetskiy natsionalnyi universytet im. Yu. Fedkovycha. Chernivtsi [In Ukrainian].
26. Williams, P. J. & Le B. Robinson, C. (2015). seasonal differences in the control of productivity in the Rhone Outfall region of the Gulf of Lions. *CEC Water Pollution Reports*, 20, 145–154.
27. Markin, V. V. (2016). Matematicheskie modeli intensifikatsii processov mehanicheskoy i biologicheskoy ochistki stochnykh vod s pomoshyu probioticheskogo sredstva “Oksidol”. *Vestnik Donbasskoj Nacionalnoj Akademii Stroitelstva i Arhitektury*, 5 (121), 88–94 [In Russian].

28. Nasonkina, N. G., & Markin, V. V. (2014). Predvaritel'naya ochildka stochnyh vod s pomoshyu probioticheskikh sredstv. *MOTROL*, 16 (6), 125–132 [In Russian].

29. *Regionalna programa ohoroni dovkillya, racionalnogo vikoristannya prirodnih resursiv ta zabezpechennya ekologichnoyi bezpeki z urahuvannyam regionalnih prioritetiv Poltavskoyi oblasti.* (2017). Poltava [In Ukrainian].

30. Pysarenko, P. V., Samoilik, M. S., Dychenko, O. Yu., & Korchahin, O. P. (2019). Otsinka fitotoksychnoi dii stichnykh vod mists zakhoronennia vidkhodiv na stiikist *Triticum aestivum*. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 2, 77–85 [In Ukrainian].

31. Samoilik, M. S. (2014). *Resursno-ekolohichna bezpeka rehionu: monohrafiia.* Poltava: PoltNTU [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 21.04.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Писаренко П. В., Самойлік М. С., Тараненко А. О., Цьова Ю. А., Приставський М. М. Наукові засади формування регіональної адаптивної стратегії управління гідросистемою (на прикладі р. Ворскли в межах Полтавської області). *Вісник ПДАА.* 2021. № 2. С. 124–134.

© Писаренко Павло Вікторович, Самойлік Марина Сергіївна, Тараненко Анна Олексіївна, Цьова Юрій Андрійович, Приставський Микола Миколайович, 2021