

ОЦІНКА ТЕХНОЄМНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДНІПРА В УМОВАХ УРБАНІЗАЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА)

Жукова О.Г., Старжинський П.С., Кордуба І.Б., Прокопенко І.О.

Київський національний університет будівництва та архітектури
пр. Повітряних Сил, 31, 03037, м. Київ
pavlostarzhynski@gmail.com

Наукова праця присвячена комплексній оцінці техноємності та екологічної стійкості Київської ділянки р. Дніпро, яка функціонує під інтенсивним антропогенним тиском і розглядається як репрезентативна модель урбанізованого градієнта. Мета роботи – кількісне визначення меж екологічної стійкості водного середовища шляхом інтегральної оцінки гідрохімічних і гідробіологічних показників (2017–2024 рр.) та виявлення локальних ділянок виснаження екологічного резерву річкової екосистеми.

Для об'єктивної оцінки впливу на річкову екосистему сформовано ієрархічний просторовий урбан-градієнт із трьох зон: фонові ділянка вище міста (км 922–897), транзитна зона міського ядра (км 897–854,5) та зона контролю асиміляції нижче міста (до км 825).

Для узагальнення багатопараметричного масиву даних застосовано індекс забрудненості води (ІЗВ) та індекс техноємності (ІТЕС) [2, 3]. Оцінку самоочисної здатності виконано за інтенсивністю внутрішньоводоймних процесів (ІВП) шляхом розрахунку коефіцієнта ефективності (Е) – співвідношення повного біохімічного та хімічного споживання кисню [5].

За даними 2024 року, на фоновій ділянці та вході в місто якість води відповідала III класу («помірно забруднена»), тоді як у замикаючому створі (км 854,5) ІЗВ стрімко зріс до 2,70 (IV клас, «забруднена»). Головними чинниками деградації визначено азот амонійний (середнє значення 1,056 мг N/дм³, перевищення нормативів у 2,7 раза), фосфати та надлишкове органічне навантаження (БСК₅, ХСК). На цій ділянці зафіксовано виснаження індексу техноємності (ІТЕС) та критичне зниження коефіцієнта ефективності до рівня $E = 0,117$, що свідчить про втрату резистентності екосистеми.

Отримані висновки повністю узгоджуються з реакцією біотичних компонентів: зниженням видового різноманіття та епізодами розвитку потенційно токсичних ціанобактерій (*Microcystis aeruginosa*). Запропонована система інтегральних індикаторів може бути впроваджена у практику екологічного менеджменту для обґрунтування планів управління річковими басейнами та пріоритизації водоохоронних заходів у межах великих міст. *Ключові слова:* урбан-градієнт, індекс техноємності (ІТЕС), індекс забрудненості води (ІЗВ), інтенсивність внутрішньоводоймних процесів (ІВП), коефіцієнт ефективності (Е), р. Дніпро, азот амонійний, БСК₅, ХСК, екологічна стійкість, біотичні компоненти.

Assessment of the techno-capacity and ecological resilience of the dnipro river under urbanisation (the case of Kyiv) Zhukova O., Starzhynski P., Korduba I., Prokopenko I.

This scientific work is devoted to a comprehensive assessment of the technological capacity and environmental sustainability of the Kyiv section of the Dnipro River, which operates under intense anthropogenic pressure and is considered a representative model of an urbanised gradient. The aim of this work is to quantitatively determine the limits of the aquatic environment's ecological stability through an integral assessment of hydrochemical and hydrobiological indicators (2017–2024) and to identify local areas where the ecological reserve of the river ecosystem is depleted.

For an objective assessment of the impact on the river ecosystem, a hierarchical spatial urban gradient of three zones was established: a background section upstream of the city (km 922–897), a transit zone of the urban core (km 897–854.5), and an assimilation control zone downstream of the city (down to km 825).

To synthesise the multi-parameter data array, the Water Pollution Index (WPI) and the Techno-Capacity Index (TCI) were applied [2, 3]. The self-purification capacity was assessed based on the intensity of in-waterbody processes (IWP) by calculating the efficiency coefficient (E) – the ratio of ultimate biochemical oxygen demand to chemical oxygen demand [5].

According to 2024 data, the water quality in the background section and at the entrance to the city corresponded to Class III ("moderately polluted"), whereas at the outlet cross-section (km 854.5), the WPI rapidly increased to 2.70 (Class IV, "polluted"). Ammonium nitrogen (average value 1.056 mg N/dm³, exceeding the standards by 2.7 times), phosphates, and excessive organic load (BOD₅, COD) were identified as the primary drivers of degradation. In this section, a depletion of the techno-capacity index (TCI) and a critical decrease in the efficiency coefficient to $E = 0.117$ were recorded, indicating a loss of ecosystem resistance.

These findings are fully consistent with the response of biotic components: a decrease in species diversity and episodes of potentially toxic cyanobacteria (*Microcystis aeruginosa*) blooms. The proposed system of integral indicators can be implemented in environmental management practices to substantiate river basin management plans and prioritise water protection measures within large cities. *Key words:* urban gradient, techno-capacity index (TCI), water pollution index (WPI), intensity of intra-reservoir processes (IWP), efficiency coefficient (E), Dnipro River, ammonium nitrogen, BOD₅, COD, ecological stability, biotic components.



Постановка проблеми у загальному вигляді. Київський профіль р. Дніпро (км 922–825) функціонує у досить складних гідроморфологічних та гідрохімічних умовах. Річка одночасно приймає зворотні води агломерації та дифузний стік з урбанізованого водозбору, а в межах системи водосховищ (Київського та Канівського) з уповільненим водообміном це зумовлює інтенсивне накопичення органіки й біогенних елементів, збільшуючи ризики евтрофування [11–14]. Специфіка екологічної ситуації цієї ділянки полягає у значній просторовій нерівномірності гідрохімічних показників уздовж всього урбанізованого профілю. Формується складна система зон критичного техногенного тиску та відрізків часткового відновлення. За традиційного моніторингу, що спирається на обмежену кількість розрізнених пунктів, така мозаїка часто відтворюється неповно. Через це складно обґрунтувати критичні межі допустимого антропогенного навантаження та вчасно ідентифікувати ділянки, де природний потенціал самовідновлення є виснаженим [12, 13]. Важливо, що гідрохімічні зсуви мають чітке біотичне підтвердження: стан біотичних угруповань на замикаючому створі міської ділянки (нижче Бортницької станції аерації) слугує незалежним індикатором верифікації просторового урбан-градієнта, оскільки біота фіксує не лише миттєву зміну концентрацій, а й кумулятивну реакцію екосистеми на хронічний стрес [6, 7].

Актуальність дослідження. Оцінювання стану великих зарегульованих річкових систем у межах міських агломерацій потребує категоричного переходу від простої констатації перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) за окремими показниками до використання інтегральних метрик. Такі метрики в поєднанні з просторовим (урбанізаційним) градієнтом дають змогу відобразити об'єктивний стан водного середовища за схемою «вище міста – міське ядро – нижче міста». Особливо потреба в такому розподілі посилюється в умовах кліматичних змін, таких як маловодні періоди та температурні екстремуми, коли самоочисна здатність водного середовища різко знижується. У контексті впровадження підходів Водної рамкової директиви ЄС в Україні вкрай актуальними є інструменти, які дозволяють кількісно оцінювати екологічну стійкість та відновлювальний потенціал масивів поверхневих вод на основі об'єктивних індикаторів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі урбанізаційний вплив на річкові системи розглядається як поєднання змін водообміну, зростання органічного та біогенного навантаження і порушення структур біоти. Для великих річок у межах мегаполісів визначальними є не лише обсяги скидів, а й просторова організація пунктів спостережень, що забезпечує зіставність даних уздовж урбанізаційного профілю. Для управлінської інтерпретації багатопараметричних гідрохімічних масивів доцільним є застосування індексних

підходів і поєднання їх із біотичними індикаторами. Теоретичну основу для визначення меж екологічної витривалості формують концепції техноємності та стійкості геосистем до антропогенних навантажень [10, 12–16].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота інтегрована у виконання завдань Плану управління річковим басейном Дніпра на 2025–2030 роки та безпосередньо орієнтована на інформаційну підтримку управлінських рішень у водогосподарському комплексі міста. Запропонований ієрархічний просторовий дизайн моніторингу забезпечує наукове обґрунтування конфігурації спостережень: чітке відокремлення базового фону на вході в агломерацію від глибоких трансформацій у межах міського ядра та зони асиміляції скидів нижче міста. Оцінка техноємності як індикатора межі допустимого навантаження має пряме прикладне значення для оптимізації систем водовідведення та екологічного супроводу модернізації очисної інфраструктури міста [10, 11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри наявність розгалуженої мережі моніторингових спостережень, у вітчизняній практиці недостатньо опрацьованим залишається питання комплексного поєднання в межах єдиної методології: ієрархічного просторового дизайну створів для характеристики безперервного урбанізаційного профілю; інтегральної індексної інтерпретації гідрохімічних даних, чутливої до поздовжніх градієнтів; а також зв'язку просторових зсувів якості води з кількісними характеристиками техноємності, самоочисної здатності та їхньої подальшої верифікації за відгуком біоти на виході з міського ядра [8–12, 14–17].

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – кількісна оцінка техноємності та екологічної стійкості р. Дніпро на Київській ділянці (км 922–825) за даними 2017–2024 рр. шляхом інтегральної індексної інтерпретації гідрохімічного моніторингу. Завдання включали: обґрунтування ієрархічного просторового дизайну п'яти створів вздовж урбанізаційного градієнта; просторово-часовий аналіз динаміки кисневого режиму та біогенного навантаження; оцінку ІЗВ, ІТЕ та ІВП із локалізацією зон виснаження асиміляційного резерву; верифікацію результатів за відгуком біотичних угруповань [8, 9].

Наукова новизна. Запропоновано методичний підхід до оцінювання екологічного стану зарегульованих річкових систем в умовах урбанізаційного тиску, що поєднує ієрархічний просторовий дизайн моніторингових створів з інтегральними індексами техноємності (ІТЕ), забрудненості води (ІЗВ) та інтенсивності внутрішньоводоймних процесів (ІВП). Просторова диференціація якості води вздовж профілю км 922–825 дозволила об'єктивно розмежувати вплив фонових стоку, міського ядра та зони асиміляції скидів.

Для Київської ділянки р. Дніпро отримано систематичний восьмирічний ряд (2017–2024 рр.) значень ІТЕ та ПВП із верифікацією за біотичним відгуком на замикаючому створі, що дозволило кількісно зафіксувати прогресуюче виснаження асиміляційного резерву екосистеми в умовах хронічного антропогенного стресу.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення результатів дослідження полягає у розробці та апробації алгоритму інтегрованого оцінювання стану річкових систем, що поєднує методику ієрархічного просторового дизайну (урбанізаційного градієнта) з розрахунком чутливих до техногенного навантаження індексів. Цей підхід може бути масштабований для моніторингу інших транскордонних та регульованих річок, що зазнають значного міського впливу.

Загальнонаукове значення роботи обумовлене розширенням уявлень про межі екологічної стійкості та механізми формування техноємності великих водних артерій у сучасних умовах. Отримані результати поглиблюють теоретичну базу для вивчення «синдрому міського потоку» та сприяють розумінню процесів трансформації речовин у каскадних водних екосистемах під впливом хронічного антропогенного стресу.

Виклад основного матеріалу. Матеріали і методи. Дослідження проведено на Київській ділянці р. Дніпро (профіль км 922–825). Просторовий дизайн моніторингової мережі (рис.1) побудовано за принципом урбанізаційного градієнта з виділен-

ням трьох ключових ділянок: «вище міста» (вхідна фонова зона, км 922–897); «центр міста» (зона транзитного міського ядра, км 897–854,5 зі створом контролю на км 870) та «нижче міста» (зона відтоку та впливу Бортницької станції аерації, км 854,5–825). Для уточнення градієнта забруднення в районі БСА додатково залучено створи км 855,5 та 855,0.

Інтегральна оцінка стану екосистеми здійснювалася шляхом розрахунку трьох індексів за стандартизованими гідрохімічними показниками [3, 4, 6].

Індекс забрудненості води (ІЗВ) [3, 4] розраховується як середнє арифметичне відношень фактичних концентрацій до нормативних значень для шести показників, що найбільше визначають якість води (розчинений кисень – обернене відношення, БСК₅, ХСК, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, PO₄³⁻-P):

$$\text{ІЗВ} = 1/n \sum (C_i / \text{ГДК}_i), \quad (1)$$

де: C_i – середня концентрація i -го показника за розрахунковий період, мг/дм³; ГДК _{i} – гранично допустима концентрація i -го показника, мг/дм³; n – кількість нормованих показників ($n = 6$).

Для розчиненого кисню використовується обернене відношення: ГДК _{i} / C_i .

Індекс техноємності (ІТЕ) відображає ступінь вичерпання асиміляційного потенціалу водного середовища та розраховується як відношення повного біохімічного споживання кисню до хімічного споживання кисню:

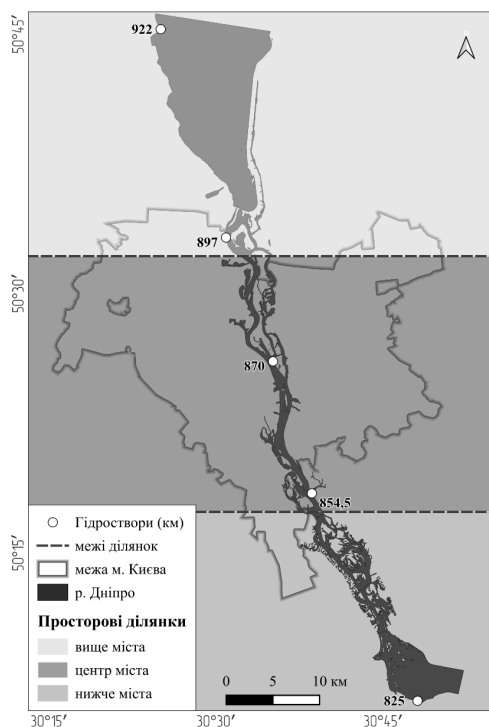


Рис. 1. Схема розташування гідрологічних створів, представлених у вигляді урбанізаційного градієнта на Київській ділянці р. Дніпро (км 922–825)

$$ІТЕ = БСК_{повн} / ХСК = (БСК_5 \cdot 1,43) / ХСК, \quad (2)$$

де: БСК_{повн} – повне біохімічне споживання кисню (мг О₂/дм³), розраховане через гідрохімічний коефіцієнт 1,43 від п'яти добового показника БСК₅; ХСК – хімічне споживання кисню (мг О₂/дм³) [6].

Значення ІТЕ наближається до 1,0 у міру виснаження асиміляційного резерву; критичним вважається перевищення порогу 0,70.

Індекс інтенсивності внутрішньоводоймних процесів (ІВП) та коефіцієнт ефективності самоочищення (Е) характеризує інтенсивність внутрішньоводоймних біохімічних перетворень у водному середовищі. Для практичної інтерпретації самоочисної здатності використано коефіцієнт ефективності (Е), який чисельно збігається з розра-

хунком ІТЕ (БСК_{повн}/ХСК), але інтерпретується за шкалою рівнів самоочищення (низький/середній/високий) [6].

$$Е = БСК_{повн} / ХСК, \quad (3)$$

Розподіл значень Е здійснюється за трьома рівнями: низький (Е = 0–0,35) – переважання хімічних процесів окиснення, пригнічення біоти; середній (Е = 0,36–0,70) – задовільна інтенсивність внутрішньоводоймних процесів; високий (Е = 0,71–1,0) – активні процеси біохімічного самоочищення.

Аналіз гідрохімічних показників р. Дніпро на Київській ділянці за 2024 рік (Таблиця 1) засвідчує чітку просторову диференціацію якості води вздовж урбанізаційного профілю. На фоновому створі (км 922) середнє значення роз-

Таблиця 1

Статистичні показники гідрохімічного стану води р. Дніпро (Київська ділянка),
01.01.2024–30.11.2024

Показники	Статистичний параметр	Гідроствори				
		км 922 n=11	км 897 n=10	км 870 n=10	км 854,5 n=10	км 825 n=11
О ₂ (розч.), мг О ₂ /дм ³	середнє	9,33	7,92	7,91	8,53	7,94
	максимум	14,24	12,20	14,60	12,20	12,30
	мінімум	4,64	3,68	3,52	4,80	5,76
Сl ⁻ , мг/дм ³	середнє	20,41	19,05	16,84	19,76	18,54
	максимум	30,10	25,50	23,70	26,30	24,80
	мінімум	15,30	12,10	9,94	14,90	13,50
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	середнє	39,72	39,76	36,24	35,89	37,55
	максимум	57,50	55,00	49,90	46,80	53,60
	мінімум	20,70	20,30	18,50	18,70	24,10
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	середнє	181,5	179,3	198,0	203,0	194,5
	максимум	209,0	210,0	224,0	240,0	235,0
	мінімум	150,0	133,0	180,0	174,0	157,0
ХСК, мг О ₂ /дм ³	середнє	51,75	43,68	44,11	45,95	46,66
	максимум	83,30	74,50	72,50	69,70	62,70
	мінімум	18,20	19,20	22,20	24,30	22,70
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	середнє	3,665	3,184	3,274	3,768	3,142
	максимум	5,280	6,560	5,860	7,360	5,280
	мінімум	2,080	1,280	1,120	2,240	2,080
NH ₄ ⁺ -N, мг N/дм ³	середнє	0,718	0,680	0,586	1,056	0,592
	максимум	1,630	1,830	1,600	2,810	2,170
	мінімум	0,310	0,250	0,240	0,400	0,110
NO ₂ ⁻ -N, мг N/дм ³	середнє	0,028	0,025	0,024	0,080	0,027
	максимум	0,091	0,055	0,042	0,255	0,067
	мінімум	0,008	0,009	0,010	0,034	0,014
NO ₃ ⁻ -N, мг N/дм ³	середнє	0,186	0,178	0,214	0,614	0,245
	максимум	0,350	0,340	0,410	2,410	0,690
	мінімум	0,080	0,100	0,080	0,140	0,050
PO ₄ ³⁻ -P, мг P/дм ³	середнє	0,081	0,105	0,122	0,222	0,107
	максимум	0,159	0,184	0,196	0,381	0,207
	мінімум	0,017	0,050	0,039	0,150	0,037

Примітки: n – кількість спостережень за період на гідростворі.

чиненого кисню становило 9,33 мг O₂/дм³, тоді як на вході в місто (км 897) та у зоні міського ядра (км 870) воно знизилось до 7,92–7,91 мг O₂/дм³. Найбільше органічне та біогенне навантаження зафіксовано на замикаючому створі км 854,5: ХСК – 45,95 мг O₂/дм³, БСК₅ – 3,768 мг O₂/дм³, азот амонійний – 1,056 мг N/дм³ (перевищення нормативу у 2,7 рази), нітрати – 0,614 мг N/дм³, фосфати – 0,222 мг P/дм³. У зоні асиміляції нижче міста (км 825) ці показники частково нормалізуються, що свідчить про відновлення самоочисних процесів.

Динаміка ІЗВ за 2017–2024 рр. (Рис. 2) демонструє стабільно несприятливий стан зони міського ядра [3, 4]. Упродовж 2017–2023 рр. створи

км 870 та км 854,5 стабільно відповідали IV класу («забруднена», ІЗВ = 2,6–3,4), тоді як фонові та контрольні створи (км 922, км 897, км 825) утримувались у межах III класу («помірно забруднена», ІЗВ = 1,8–2,3). У 2024 р. зафіксовано помітне покращення на створі км 870 – ІЗВ знизився до 2,15 (III клас), що свідчить про часткове самоочищення у транзитній зоні. Водночас км 854,5 залишився у IV класі (ІЗВ = 2,85), підтверджуючи хронічну деградацію замикаючого створу міської ділянки.

Індекс техноємності (ІТЕ) та індекс інтенсивності внутрішньо-водоємних процесів (ІВВП) [6] (Рис. 3а, 3б) фіксують максимальне навантаження на екосистему у зонах км 870 і км 854,5. Значення ІТЕ на цих створах у 2017–2024 рр. коливалися

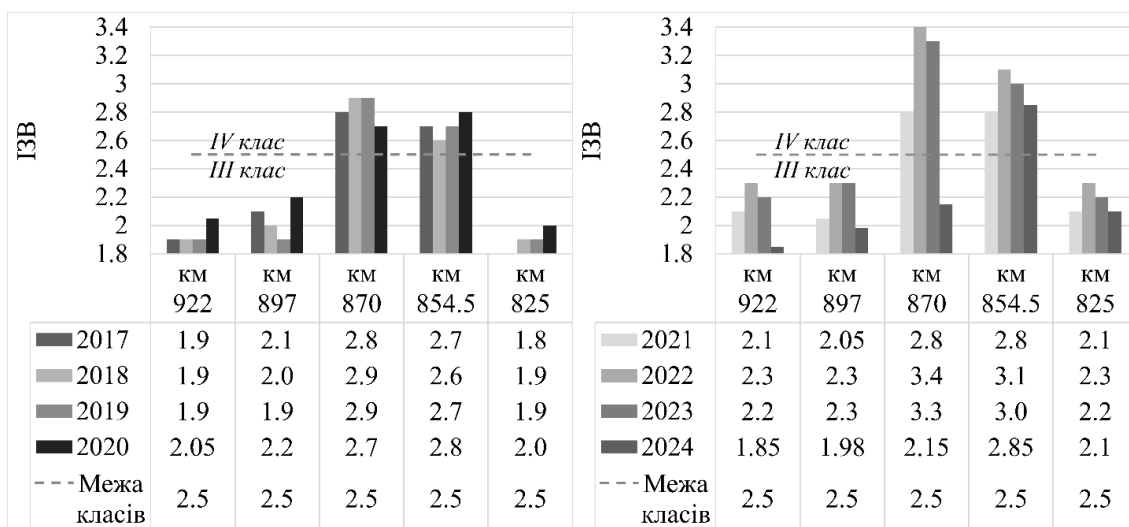
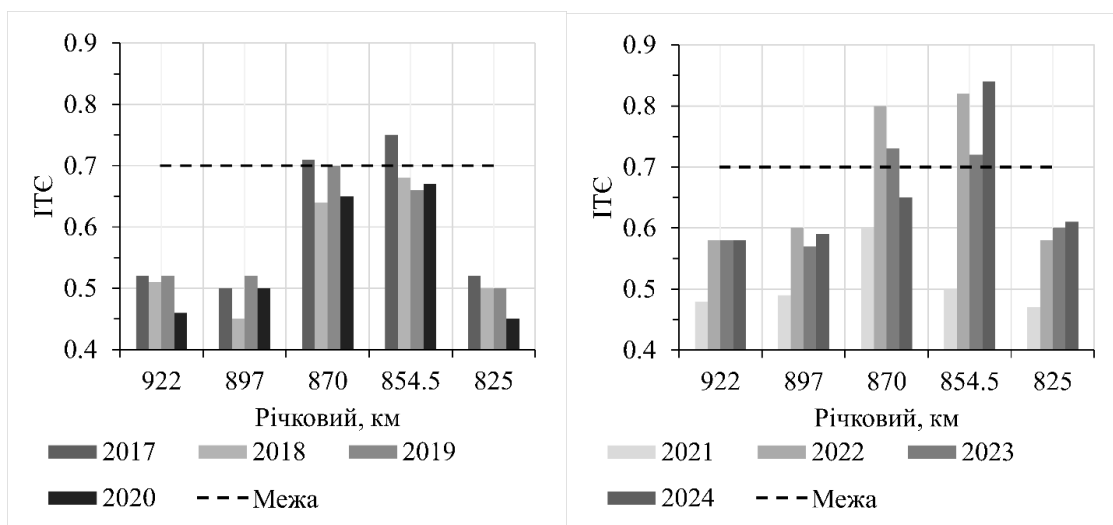
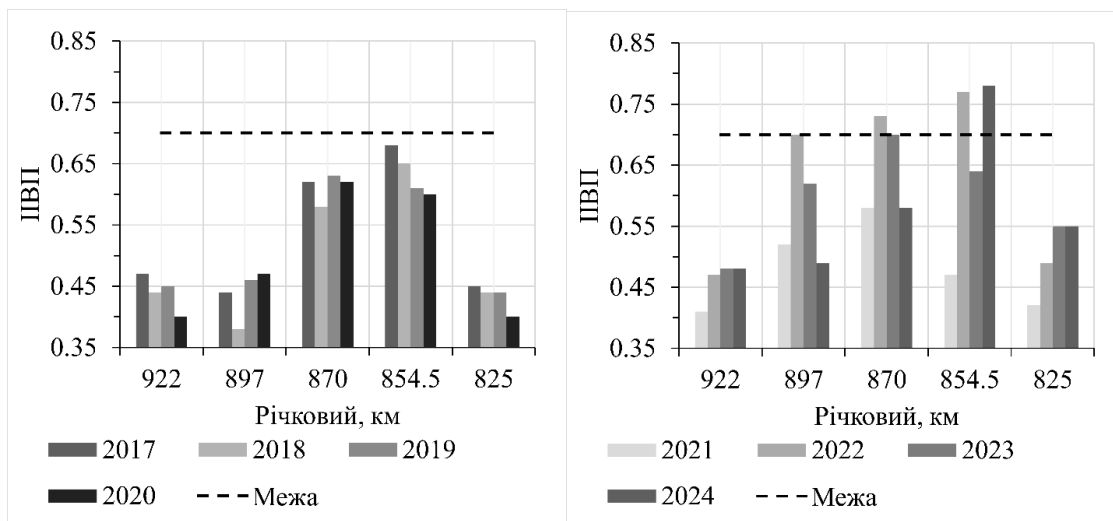


Рис. 2. Оцінка якості води за індексом забрудненості води (ІЗВ), р. Дніпро (Київська ділянка), 2017–2024 рр.



а)



б)

Рис. 3. Динаміка ІТЄ (а) та ПВП (б) р. Дніпро (Київська ділянка), 2017–2024 рр. [6]

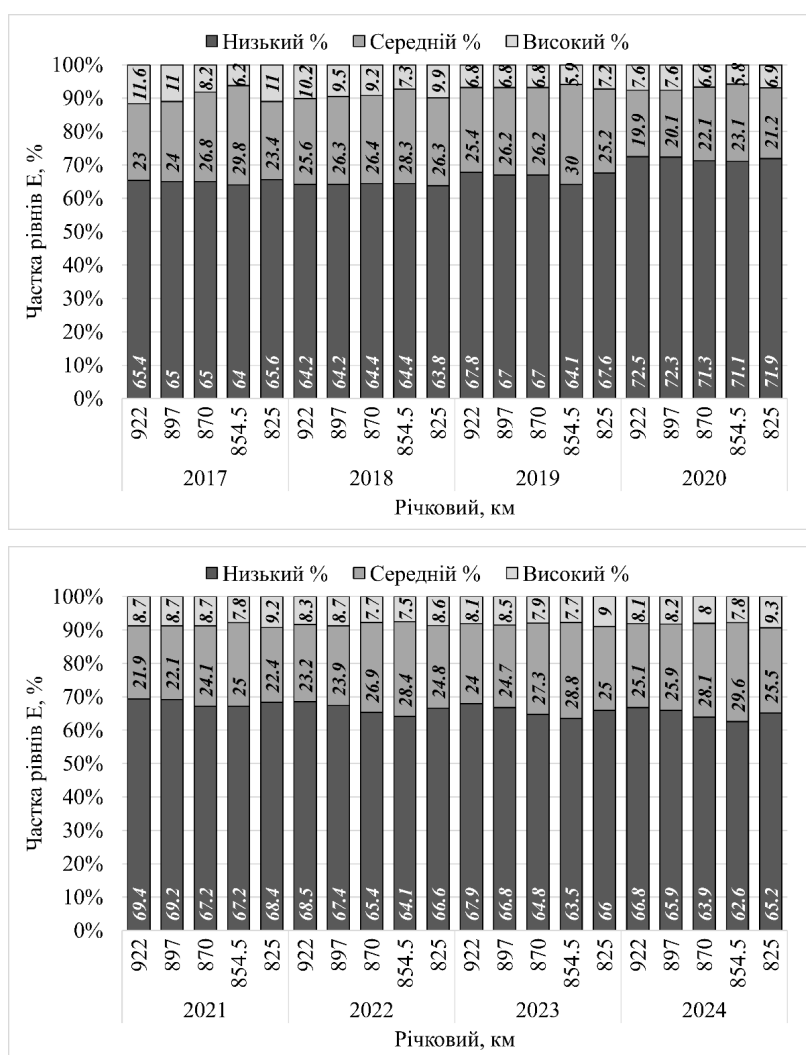


Рис. 4. Розподіл коефіцієнта ефективності самоочищення (E), р. Дніпро (Київська ділянка), 2017–2024 рр. [6]

Таблиця 2.1

Узагальнені гідробіологічні показники оцінки стану р. Дніпро в межах міста Києва, 2017–2023 рр

Показник	Гідроствори		
	км 897	км 870	км 854,5
Сапробний індекс	0,950	1,300	0,800
Чисельність фітопланктону (10^6 клітин/м ³)	678,0	56,00	272,0
Біомаса (мг/м ³)	1072,0	11,00	368,0
Кількість видів	12	8	7
Сапрофітні бактерії, (клітин/м ³)	сотні–тисячі ($10^2 - 10^3$)	десятки–сотні тисяч ($10^4 - 10^5$)	сотні тисяч–мільйони ($10^5 - 10^6+$)
Індекс структурної самоорганізації	0,740	1,400	0,790
Індекс Шеннона (біомаса)	5,920	4,300	3,610

Таблиця 2.2

Гідробіологічні показники р. Дніпро в межах м. Києва, 2021, 2023, 2024 рр

Показник	Гідроствори		
	км 855,5	км 855, (БСА)	км 854,5
2021р., червень			
Біомаса фітопл., г/м ³	124,00	922,28	76,13
Дом. види фітопл.	<i>Gomphonema olivaceum</i>	<i>Microcystis pulverea</i>	-
Видів бентосу	18	5 (мінімум)	13
Стан	Задовільний	Локальне забруднення	Швидке самоочищення
2023 р., (липень – вересень)			
Біомаса фітопл., г/м ³	3562,24	1538,14	6646,52
Дом. види фітопл.	<i>Melosira varians</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Microcystis pulverea</i> , <i>Oscillatoria</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Видів бентосу	25	6 (Критично)	34
Стан	Цвітіння води (високий фон)	Токсичний вплив на дно	Гіперевтрофікація, вторинне забруд.
2024 р., серпень			
Біомаса фітопл., г/м ³	2374,61	2767,15	1190,23
Дом. види фітопл.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i>
Видів бентосу	26	22	34
Стан	Високий рівень цвітіння	Макс. біомаси, част. відновлення бентосу	Активне самоочищення

в діапазоні 0,60–0,84, при цьому у 2024 р. на км 854,5 зафіксовано новий максимум – ІТЕ = 0,84, що перевищує пік 2022 р. (0,82) та свідчить про подальше зростання техногенного навантаження. На фоновому (км 922) та нижньому (км 825) створах ІТЕ стабільно залишався на рівні 0,45–0,61, тобто в межах допустимого навантаження. Відповідно ПВП у зоні міського ядра у 2024 р. досяг 0,78 на км 854,5 – найвищого значення за весь спостережний ряд, що відображає критичну інтенсифікацію деструктивних процесів і виснаження асиміляційного резерву.

Аналіз розподілу коефіцієнта ефективності самоочищення (E) (Рис. 4) підтверджує: частка «низь-

кого» рівня самоочищення ($E = 0-0,35$) на всіх створах стабільно перевищує 64–73%, тоді як «висока» здатність ($E > 0,71$) фіксується лише у 6–12% спостережень. На замикаючому створі км 854,5 частка «високих» значень найменша протягом усього ряду (5,8–9,1%), що вказує на критичне виснаження буферного потенціалу саме цієї ділянки. Примітно, що у 2024 р. на створі км 897 частка «середніх» значень зросла до 31,2% – найвищий показник за весь ряд спостережень для цього створу, що може свідчити про локальне посилення органічного навантаження на вході в місто. Коефіцієнт ефективності самоочищення (E) у 2024 р. на км 854,5 знизився до 0,117, що є індикатором втрати резистентності екосистеми.

Гідробіологічні дані (Таблиці 2.1 та 2.2) надають незалежне підтвердження хімічних змін. За 2017–2023 рр. на км 854,5 зафіксовано найнижче видове різноманіття фітопланктону (7 видів проти 12 на км 897) та мінімальний індекс Шеннона (3,61). У 2023 р. (липень–вересень) у зоні нижче Бортиницької станції аерації (км 854,5) домінуючим видом стала *Microcystis aeruginosa* при біомасі 6646,52 г/м³ і критично низькій кількості видів бентосу (6). Це свідчить про гіперевтрофікацію та вторинне забруднення. У 2024 р. (серпень) на всіх трьох внутрішньоміських створах домінували ціанобактерії (*Microcystis aeruginosa*), при цьому на км 854,5 відмічено активне самоочищення зі збільшенням видів бентосу до 34, що вказує на поступове відновлення після пікового навантаження попереднього сезону.

Висновки. На Київській ділянці р. Дніпро (км 922–825) впродовж 2017–2024 рр. встановлено стійку просторову диференціацію якості води вздовж урбанізаційного градієнта: фонові та контрольні створи (км 922, км 897, км 825) стабільно відповідали III класу (ІЗВ = 1,8–2,3), тоді як зона міського ядра (км 870–854,5) хронічно утримувалась у межах IV класу («забруднена»).

У 2024 р. зафіксовано новий максимум техногенного навантаження на замикаючому створі км 854,5: ІТЕ = 0,84 та ІВП = 0,78 – найвищі значення за увесь спостережний ряд, що свідчить про подальше виснаження асиміляційного резерву екосистеми попри часткове покращення ІЗВ на км 870 (зниження до III класу).

Коефіцієнт ефективності самоочищення (Е) на км 854,5 у 2024 р. становив 0,117, що відповідає «низькому» рівню і підтверджує пригнічення біохімічних процесів. Гідробіологічне підтвердження отримано через домінування *Microcystis aeruginosa* та критично низьку кількість видів бентосу (6) у 2023 р.

Запропонований комплекс індексів (ІЗВ, ІТЕ, ІВП) у поєднанні з ієрархічним просторовим дизайном п'яти створів дозволив об'єктивно локалізувати ділянки виснаження екологічного резерву та верифікувати результати гідрохімічного аналізу біотичними даними.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані органами державного екологічного моніторингу для оптимізації мережі спостережень на урбанізованих ділянках річок України та встановлення науково обґрунтованих нормативів техногенного навантаження. Запропонований методичний підхід може бути масштабований для оцінки стану інших зарегульованих річок та транскордонних водних об'єктів.

Перспективним напрямом є впровадження запропонованого алгоритму до системи автоматизованого екологічного моніторингу р. Дніпро з інтеграцією даних дистанційного зондування та гідрологічного моделювання для прогнозування сезонних змін асиміляційного резерву в умовах зростаючого урбанізаційного тиску та кліматичних змін.

Література

1. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок дій Співтовариства у сфері водної політики (консолідована версія). <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>
2. Про затвердження Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного стану масиву поверхневих вод та віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод : наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 5 від 14.01.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text> (дата звернення: 16.02.2026).
3. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, у т.ч. гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин для водних об'єктів, що використовуються для рибогосподарських потреб : наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 471 від 30.07.2012.
4. Гриценко А. В., Васенко О. Г., Верніченко Г. А. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Нормативний документ (проект). Харків : УкрНДІЕП, 2012. 37 с.
5. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ : Ніка-Центр, 2001. 264 с.
6. Удод В. М., Жукова О. Г. Регіонально-екологічний підхід до оцінки можливих наслідків забруднення басейну річки Кальміус. Хімія та технологія води. 2015. Вип. 37 (1). С. 93–99.
7. Вільдман І. Л. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р. Інгулець) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Київ : КНУБА, 2016. 23 с.
8. Грубінко В. В. Системна оцінка метаболічних адаптацій гідробіонтів. Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені В. Гнатюка. Серія: Біологія. 2001. Вип. 4 (15). С. 36–39.
9. Кізілова Н. М., Ричак Н. Л., Руднев Ю. І. Системно-динамічний підхід до контролю якості води на урбанізованих територіях. Системи обробки інформації. 2019. Вип. 4 (159). С. 87–92.
10. Градзинський М. Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. Київ : Лікей, 1995. 233 с.
11. Самойленко В. М., Діброва І. О. Антропогенізація ландшафтів. Київ : Ніка-Центр, 2021. 256 с.
12. Iordache V., Petrovici A., Dinu C. Urban pressures on river ecosystems in Eastern Europe: A case study of Bucharest. Ecological Indicators. 2019. Vol. 103. P. 39–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.049>.
13. Fletcher T. D. et al. Urban stormwater management in a changing climate. Water Research. 2021. Vol. 190. 116748. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116748>.
14. Global Report on Sanitation and Wastewater Management in Cities and Human Settlements. Nairobi: UN-Habitat, 2023. URL: <https://unhabitat.org/global-report-on-sanitation-and-wastewater-management-in-cities-and-human-settlements> (дата звернення: 16.02.2026).

15. Nowicka B., Lewicki M., Zalewski M. Integrated assessment of urban water quality in Warsaw: Identifying sources of nutrient pollution. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 793. 148547. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148547>.
16. Liu Y. et al. Urban runoff mitigation by nature-based solutions: A meta-analysis. *Urban Water Journal*. 2023. Vol. 20 (2). P. 112–124. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2127014>.
17. Farhadi R., Ziari K., Noroozi M. Sustainable urban design for stormwater management. *Sustainable Urban Design*. Singapore : Springer, 2024. P. 123–145. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-4924-9_9.
18. Artemov V., Kovalenko O., Mykhailenko V. Impact of war-related disruptions on urban water infrastructure: A case study of Kyiv. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 45678–45689. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19034-7>.

Дата першого надходження статті до видання: 03.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026