

УДК 502/504

<https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406/1-03>

АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ВОДИ І СТАН ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Некос А. Н.Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022

Анотація. У статті узагальнено сучасні наукові підходи до оцінки впливу антропогенного забруднення на якість води та структурно-функціональний стан екосистем водних об'єктів у контексті реалізації принципів сталого розвитку. Розглянуто вплив основних джерел антропогенного навантаження на гідрохімічні показники якості води, зокрема вміст розчиненого кисню, біогенних елементів, органічних речовин, важких металів і стійких органічних забруднювачів. Показано, що надмірне антропогенне навантаження спричиняє деградацію водних екосистем, порушення біогеохімічних циклів, зниження здатності водойм до самоочищення та трансформацію структури гідробіоценозів. Особливу увагу приділено процесам евтрофікації як одній з найбільш поширених форм деградації водних об'єктів, що супроводжується «цвітінням» води, дефіцитом кисню та зменшенням біорізноманіття. Визначено екологічні наслідки накопичення токсичних речовин у трофічних ланцюгах та їхній вплив на екосистемні послуги водних об'єктів. Обґрунтовано тісний взаємозв'язок між якістю води, станом водних екосистем і досягненням Цілей сталого розвитку, зокрема у сферах забезпечення доступу до безпечної питної води, охорони здоров'я населення, продовольчої безпеки та економічної стабільності. Наголошено на необхідності впровадження інтегрованого та екосистемного підходів до управління водними ресурсами, що передбачають

поєднання законодавчих, технологічних і природоорієнтованих заходів. Визначено пріоритетні напрями збереження та відновлення водних екосистем як головної умови екологічної безпеки та сталого водокористування.

Ключові слова: водні об'єкти, якість води, екосистеми, антропогенне забруднення, сталий розвиток.

Anthropogenic Pollution and Its Impact on Water Quality and Ecosystem Condition in the Context of Sustainable Development. Nekos A. The article synthesizes contemporary scientific approaches to assessing the impact of anthropogenic pollution on water quality and the structural-functional state of aquatic ecosystems within the framework of sustainable development principles. The influence of major sources of anthropogenic pressure on hydrochemical indicators of water quality is examined, including dissolved oxygen, nutrients, organic matter, heavy metals, and persistent organic pollutants. It is shown that excessive anthropogenic load leads to the degradation of aquatic ecosystems, disruption of biogeochemical cycles, a decline in the self-purification capacity of water bodies, and transformation of the structure of hydrobiocenoses. Particular attention is given to eutrophication processes as one of the most widespread forms of aquatic ecosystem degradation, accompanied by algal blooms, oxygen depletion, and reduced biodiversity. The ecological consequences of toxic substance accumulation in trophic

chains and their impact on ecosystem services of water bodies are identified. A close interrelationship between water quality, the condition of aquatic ecosystems, and the achievement of the Sustainable Development Goals is substantiated, particularly in ensuring access to safe drinking water, public health protection, food security, and economic stability. The necessity of implementing integrated and ecosystem-based approaches to water resources management is emphasized, combining legislative, technological, and nature-based measures. Priority directions for the conservation and restoration of aquatic ecosystems are identified as a key condition for environmental safety and sustainable water use.

Keywords: water bodies, water quality, ecosystems, anthropogenic pollution, sustainable development.

Постановка проблеми. Водні екосистеми забезпечують важливі екосистемні послуги: водопостачання, регулювання клімату, підтримання біорізноманіття [1]. За оцінками ООН, прісні води становлять лише 2,5% від загальних водних ресурсів планети, причому доступними для використання є менше 1% від цього обсягу [2].

Водночас зростання чисельності населення планети, інтенсифікація промислового виробництва та сільськогосподарської діяльності зумовлюють посилення антропогенного впливу на водні об'єкти. Розширення урбанізованих територій, збільшення обсягів водоспоживання та використання агрохімікатів збільшують обсяги стічних вод і забруднюючих речовин, що надходять у природні водойми. За даними ВООЗ та ООН, значну частину стічних вод скидають у водні об'єкти без належної очистки [3-5]. Така ситуація створює серйозні загрози для якості води, функціонування екосистем і здоров'я населення.

Вплив антропогенного забруднення водних об'єктів є вагомим перешкодою для досягнення Цілей сталого розвитку ООН, зокрема Цілі 6

Чиста вода та належна санітарія [6]. Водночас наявні наукові дослідження часто мають фрагментарний характер і не забезпечують цілісного уявлення про взаємозв'язок між антропогенним забрудненням, якістю води та станом екосистем у контексті сталого розвитку, що зумовлює потребу в комплексному узагальненні сучасних підходів до цієї проблеми.

Актуальність дослідження.

Сучасний стан водних об'єктів характеризується посиленням антропогенного впливу, пов'язаного зі зростанням населення, інтенсифікацією промислової та сільськогосподарської діяльності, а також збільшенням обсягів стічних вод. У результаті знижується якість поверхневих вод, порушуються природні механізми самоочищення і поступово відбувається деградація екосистем. Антропогенне забруднення водних об'єктів спричиняє розвиток евтрофікації, накопичення токсичних речовин і трансформацію структури гідробіоценозів, що негативно позначається на екосистемних функціях водойм і можливостях їх господарського використання. В умовах реалізації Цілей сталого розвитку особливої актуальності набуває необхідність інтегрованого аналізу взаємозв'язку між антропогенним забрудненням, якістю води та станом екосистем, що дозволяє обґрунтувати екосистемно орієнтовані підходи до управління водними ресурсами та збереження їх екологічної стійкості.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Результати дослідження пов'язані з актуальними науковими та практичними завданнями гідроекології, зокрема з удосконаленням підходів до оцінки впливу антропогенного забруднення на якість води та стан екосистем у контексті сталого розвитку. Узагальнені положення роботи сприяють інтеграції гідрохімічних і екосистемних підходів до аналізу водних об'єктів та можуть бути використані при

екологічній оцінці, моніторингу і плануванні природоохоронних заходів. Отримані узагальнення щодо впливу антропогенного забруднення на якість води та стан водних екосистем поглиблюють наукові уявлення про механізми трансформації гідробіоценозів і порушення екосистемних функцій водних об'єктів. Матеріали можуть бути застосовані в процесі моніторингу водних ресурсів, розроблення регіональних програм охорони довкілля та реалізації принципів інтегрованого управління водними ресурсами в контексті сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми якості води та стану водних екосистем широко представлені у вітчизняній та міжнародній науковій літературі. Алімов О. Ф., Константинов А. С. Яковлєва В. О. та Одум Ю. П. розробили методологічні основи сучасної гідроекології, фундаментальні концепції структурної організації та функціонування водних екосистем. У роботах цих дослідників аналізуються процеси, які відбуваються у водоймі під час її самоочищення, а також принципи використання реакції організмів на умови навколишнього середовища для оцінки якості води.

Вагомий внесок у вивчення гідроекологічних умов водних об'єктів України зробили Романенко В. Д., Афанасьєв С. О., Хільчевський В. К., які у своїх працях досліджували процеси евтрофікації, а також вплив точкових та дифузних джерел забруднення на якість поверхневих вод.

Проблематика антропогенного впливу на водні екосистеми в глобальному контексті висвітлена у працях Wetzel R., Dodds W., Lampert W., де розглядаються загальні механізми реакції гідробіоценозів на забруднення, трансформація трофічних зв'язків і порушення біогеохімічних циклів.

Postel S., Gleick P., Vörösmarty C., визначаючи загрози деградації водних екосистем для продовольчої безпеки, здоров'я населення та економічного

розвитку, доводять залежність між станом водних ресурсів та сталим розвитком суспільства.

Водночас, попри значний обсяг наукових досліджень, залишаються недостатньо вивченими комплексна оцінка впливу сучасних форм антропогенного забруднення на різні компоненти екосистем, а також питання інтеграції екосистемних підходів до управління водними ресурсами у практику сталого розвитку.

Мета роботи. Метою роботи є узагальнення сучасних наукових підходів до оцінки антропогенного впливу на якість води та функціональний стан екосистем і обґрунтування пріоритетних напрямів збереження та відновлення екосистем відповідно до принципів сталого розвитку.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалами дослідження слугували наукові публікації та аналітичні звіти, у яких узагальнено результати довготривалих спостережень за станом водних ресурсів. У роботі застосовано методи аналізу і синтезу для систематизації сучасних наукових уявлень щодо джерел антропогенного забруднення та їх впливу на якість води і стан екосистем. Метод порівняльного аналізу використано для зіставлення підходів до оцінки екологічного стану водних об'єктів, а метод узагальнення – для формування концептуальних висновків і визначення пріоритетних напрямів збереження та відновлення екосистем у контексті сталого розвитку.

Результати дослідження. Антропогенне забруднення водних об'єктів формується під впливом різних видів господарської діяльності людини, інтенсивність яких зростає в сучасних умовах. Розрізняють точкові джерела забруднення (локалізовані скиди через конкретні випуски) та дифузні (розосереджені надходження з великих площ) (табл. 1).

Таблиця 1 – Джерела забруднення

Тип джерела	Основні приклади	Характер впливу	Екологічні наслідки
Точкові	Стічні води, промислові скиди	Локалізоване надходження	Токсикація, зниження кисню
Дифузні	Сільське господарство, поверхневий стік	Розосереджене надходження	Евтрофікація, забруднення біогенами

Гідрохімічні показники якості води суттєво змінюються в умовах антропогенного забруднення. Основні групи забруднювачів, які впливають на

якість води, включають органічні речовини, біогенні елементи, важкі метали, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив основних груп забруднювачів на стан екосистем

Група забруднювачів	Основний механізм впливу	Реакція екосистем	Екологічні наслідки
Органічні речовини	Біохімічне окиснення з інтенсивним споживанням розчиненого кисню (підвищення БСК)	Порушення кисневого режиму, розвиток гіпоксії або анаеробних умов	Загибель гідробіонтів, зниження біорізноманіття, пригнічення процесів самоочищення
Біогенні елементи (N, P)	Надмірне збагачення поживними речовинами, стимуляція розвитку фітопланктону	Евтрофікація, «цвітіння» води, зменшення прозорості	Порушення трофічної рівноваги, дефіцит кисню, деградація екосистем
Важкі метали	Токсична дія на клітинному рівні, блокування ферментативних процесів, біоаккумуляція	Фізіолого-біохімічні порушення, зниження життєздатності популяцій	Токсикація трофічних ланцюгів, мутагенні ефекти, зниження екологічної стійкості
Нафтопродукти	Утворення плівки на поверхні води, токсичний вплив на гідробіонтів	Порушення газообміну, пригнічення фотосинтезу	Зниження продуктивності екосистем, загибель чутливих видів
Синтетичні поверхнево-активні речовини	Зміна фізико-хімічних властивостей води, токсичний вплив на організми	Порушення мембранних процесів, пригнічення біологічної активності	Деградація біоценозів, зниження здатності до саморегуляції

Стойкі органічні забруднювачі	Висока стабільність, кумуляція в організмах, канцерогенна дія	Хронічна токсичність, порушення репродуктивних функцій	Біомагніфікація у трофічних ланцюгах, довготривала деградація екосистем
-------------------------------	---	--	---

Органічне забруднення визначається як надходження легкоокислюваних органічних речовин, яке супроводжується зменшенням вмісту розчиненого кисню у воді. Окислення, або біохімічні процеси окиснення органічних речовин, завжди передбачають споживання кисню, що може призвести до анаеробних умов і, як наслідок, до загибелі водних організмів. Органічне забруднення оцінюють за показником біохімічного споживання кисню (БСК) [7].

Евтрофікація є одним із найпоширеніших порушень функціонування водних екосистем у сучасних умовах і пов'язана з надмірним надходженням біогенних елементів, насамперед сполук азоту та фосфору, у поверхневі води. Підвищення концентрацій поживних речовин стимулює інтенсивний розвиток фітопланктону, що проявляється у вигляді «цвітіння» води та зниження її прозорості. Масовий розвиток водоростей супроводжується підвищенням біохімічного споживання кисню і порушенням кисневого режиму, унаслідок чого формуються гіпоксичні або анаеробні умови в придонних шарах води. Наслідком таких процесів є загибель донних організмів, зниження біорізноманіття та погіршення органолептичних властивостей води, що свідчить про глибоку евтрофну деградацію водних екосистем [8].

Важкі метали високотоксичні для живих організмів і накопичуються в трофічних ланцюгах. Токсична дія цих елементів полягає у пригніченні ферментативної активності та блокуванні фізіологічних і біохімічних процесів у

клітинах, що зумовлює мутагенний ефект [9, 10].

Органічне забруднення включає небезпечні компоненти, зокрема стійкі органічні забруднювачі – поліхлоровані біфеніли, діоксини і пестициди, які відзначаються високою стабільністю, накопичуються в організмах і мають канцерогенну дію [11].

Слід зазначити, що антропогенне забруднення спричиняє глибокі структурно-функціональні зміни у водних екосистемах, що проявляються на всіх рівнях біологічної організації: від окремих організмів до екосистеми в цілому [12, 13].

Антропогенне забруднення водних екосистем призводить до каскадних змін, що проявляються на всіх рівнях біологічної організації (табл. 3).

На рівні організмів спостерігаються токсичні ефекти та порушення фізіолого-біохімічних процесів, на рівні популяцій – зниження чисельності та зміна вікової структури, на рівні угруповань – спрощення структури та зменшення видового різноманіття. Сукупна дія цих змін на екосистемному рівні зумовлює порушення біогеохімічних циклів, зниження здатності до самоочищення та втрату екосистемних послуг.

Наслідки антропогенного забруднення водних екосистем виходять за межі суто екологічної проблематики та формують системні виклики для сталого розвитку суспільства.

Якість води та стан водних екосистем визначають можливості водопостачання, функціонування екосистемних послуг і стійкість водокористування.

Таблиця 3 – Каскадні зміни екосистем під впливом антропогенного забруднення

Рівень біологічної організації	Прояв впливу	Основні екологічні ефекти	Наслідки для екосистем
Організмий	Токсична дія забруднювачів, порушення фізіолого-біохімічних процесів	Зниження життєздатності, стресові реакції, порушення метаболізму	Підвищена смертність, зменшення адаптивної здатності
Популяційний	Зміна чисельності та вікової структури популяцій	Зниження відтворення, скорочення чисельності чутливих видів	Дестабілізація популяцій, зменшення генетичного різноманіття
Біоценотичний (угруповання)	Спрощення структури угруповань, домінування стійких видів	Зниження видового різноманіття, порушення трофічних зв'язків	Деградація біоценозів, порушення екологічної рівноваги
Екосистемний	Порушення біогеохімічних циклів і процесів саморегуляції	Зниження здатності до самоочищення, зміна продукційно-деструкційних процесів	Втрата екосистемних послуг, зниження екологічної стійкості

Від цього опосередковано залежать доступ до безпечної питної води, стан здоров'я населення та ефективність господарської діяльності. За таких умов збереження якості водних ресурсів і функціональної цілісності екосистем є необхідною передумовою досягнення Цілей сталого розвитку ООН, насамперед у сфері водної безпеки та управління водними ресурсами.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування інтегрованого та екосистемного підходів до управління водними ресурсами, які передбачають узгодження природоохоронних, управлінських і технічних рішень. Застосування цих підходів дозволяє враховувати взаємозв'язок між якістю води, станом екосистем і характером антропогенного навантаження. За таких умов збереження і відновлення екосистем розглядається як один із пріоритетних напрямів забезпечення екологічної безпеки та сталого водокористування.

Узагальнення результатів показало, що антропогенне забруднення

проявляється у комплексних змінах гідрохімічних показників, порушенні структурно-функціональної організації екосистем та зниженні їх здатності до саморегуляції. Найбільш чутливими індикаторами деградації є порушення кисневого режиму, евтрофікація та накопичення токсичних речовин, які зумовлюють трансформацію екосистемних процесів і зниження екологічної стійкості.

Обговорення результатів.

Отримані результати підтверджують, що антропогенне забруднення є одним з основних факторів, які спричиняють погіршення стану водних об'єктів, якості води та деградацію водних екосистем у сучасних умовах. Вплив господарської діяльності на гідрохімічні параметри води проявляється комплексно – насамперед у зміні кисневого режиму, підвищенні вмісту біогенних та органічних речовин і поступовому накопиченні токсичних компонентів.

За сучасними уявленнями гідроекології евтрофікація розглядається як один із основних процесів деградації

водних екосистем і є наслідком тривалого надходження біогенних елементів, зокрема сполук азоту та фосфору, з комунально-побутових стічних вод і сільськогосподарського стоку. Надлишок поживних речовин порушує трофічну рівновагу водних об'єктів, посилює продукційні процеси та зрештою призводить до формування гіпоксичних умов, що негативно впливає на структурно-функціональний стан гідробіоценозів. Такий підхід відповідає сучасним уявленням, за якими евтрофікація розглядається як багаторівневий процес, що поєднує фізичні, хімічні та біологічні механізми функціонування екосистем.

Сучасні дослідження свідчать, що біохімічне споживання кисню розглядається як інтегральний показник, який відображає інтенсивність мікробіологічного окиснення органічної речовини та екологічний стан водних екосистем. Підвищені показники БСК свідчать про зростання навантаження на кисневий режим води і відповідно зменшення здатності екосистем до самоочищення та підтримання екологічної рівноваги. Додатковий екологічний ризик формують важкі метали і стійкі органічні забруднювачі.

Важливим аспектом статті є аналіз взаємозв'язку між якістю води, функціональним станом водних екосистем і реалізацією Цілей сталого розвитку.

Узагальнення отриманих результатів підтверджує, що антропогенне забруднення є системоутворюючим чинником трансформації екосистем, який через зміну гідрохімічних параметрів, порушення трофічних зв'язків і накопичення токсичних речовин зумовлює зниження екологічної стійкості та здатності екосистем до саморегуляції. Такий інтегрований підхід дозволяє розглядати якість води і стан екосистем як взаємопов'язані компоненти єдиної соціо-еколого-економічної системи, що має принципове значення для реалізації стратегій сталого розвитку. Слід

вказати, що узагальнений характер дослідження обмежує можливість кількісної оцінки регіональних відмінностей прояву антропогенного впливу, що потребує подальших спеціалізованих досліджень.

Висновки. Антропогенне забруднення є основним фактором трансформації екосистем через зміни гідрохімічних параметрів, розвиток процесів евтрофікації та накопичення токсичних речовин, що змінює структурну та функціональну організацію, знижує здатність до саморегуляції та втрачає екосистемні послуги. Отримані результати обґрунтовують необхідність інтегрованого й екосистемного підходу до управління водними ресурсами та збереження екологічної стійкості екосистем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на регіонально орієнтовану кількісну оцінку впливу антропогенного впливу на водні об'єкти та розробку практичних механізмів збереження і відновлення екосистем у контексті сталого розвитку.

Список використаних джерел

1. Nabout, J. C., Machado, K. B., David, A. C. M., Mendonça, L. B. G., Da Silva, S. P., & Carvalho, P. (2022). Scientific literature on freshwater ecosystem services: trends, biases, and future directions. *Hydrobiologia*, 850(12–13), 2485–2499. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05012-6/>
2. UNESCO World Water Assessment Programme. (2022). *The United Nations world water development report 2022: Groundwater – Making the invisible visible*. Paris: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>.
3. World Health Organization. (2024). *Progress on the proportion of domestic and industrial wastewater flows safely treated: Global status and acceleration needs to 2030*. World Health Organization.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240099081>.

4. United Nations. (2024). *SDG indicator 6.3.1: Proportion of domestic wastewater safely treated*. United Nations Statistics Division. <https://sdg6data.org>.

5. UN-Water. (2024). *Progress on wastewater treatment: 2024 update*. United Nations.

<https://www.unwater.org/publications/progress-wastewater-treatment-2024-update>.

6. *Goal 6: Clean water and sanitation - The Global Goals*. (2024, January 23). The Global Goals. <https://globalgoals.org/goals/6-clean-water-and-sanitation/>.

7. Wang, F., Zhang, P., Yan, W., Jia, M., Su, X., Wang, J., & Tian, S. (2023). Riverine organic pollution source and yield from the whole Changjiang river network: Effects of urbanization under changing hydrology. *Journal of Hydrology*, 620, 129544. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129544>.

8. Akinnawo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 12, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>.

9. Jolaosho, T. L., Elegbede, I. O., Akintola, S. L., Jimoh, A. A., Ndimele, P. E., Mustapha, A. A., & Adukonu, J. D. (2024).

Bioaccumulation

dynamics, noncarcinogenic and carcinogenic risks of heavy metals in commercially valuable shellfish and finfish species from the world largest floating slum, Makoko, Nigeria. *Marine Pollution Bulletin*, 207, 116807.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116807>.

10. Wang, Y., Noman, A., Zhang, C., Al-Bukhaiti, W. Q., & Abed, S. M. (2024). Effect of fish-heavy metals contamination on the generation of reactive oxygen species and its implications on human health: a review. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1500870>.

11. United Nations Environment Programme. (2023). *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs): Global monitoring report*. UNEP. <https://www.pops.int>

12. Hu, J., Han, G., & Zhang, Q. (2025). Impacts of environmental change and human activities on aquatic ecosystems. *Water*, 17(11), 1669. <https://doi.org/10.3390/w17111669>.

13. De Carvalho, F. G., Loyau, A., Kelly-Irving, M., & Schmeller, D. S. (2025). Aquatic ecosystem indices, linking ecosystem health to human health risks. *Biodiversity and Conservation*, 34(3), 723–767. <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03010-3>