

КІРЕЙЦЕВА ГАННА

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-1055-1784>e-mail: gef_kgv@ztu.edu.ua**ЦИГАНЕНКО-ДЗЮБЕНКО ІЛІЯ**

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-3240-8719>e-mail: ke_miyu@ztu.edu.ua

АНТРОПОГЕННІ ДЕТЕРМІНАНТИ ДЕГРАДАЦІЇ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті досліджено основні причини антропогенного забруднення водних ресурсів та фактори перевищення нормативних показників якості води. Систематизовано джерела забруднення за їхнім впливом на загально-санітарні та специфічні показники якості води. Проаналізовано вплив промислових і сільськогосподарських стоків, комунальних відходів та урбанізаційних процесів на гідрохімічні параметри водних об'єктів. Особливу увагу приділено забрудненню важкими металами та стійкими органічними забруднювачами, що становлять найбільшу небезпеку для водних екосистем та здоров'я населення. Обґрунтовано поділ показників якості води відповідно до вимог національного законодавства та Водної рамкової директиви ЄС. Запропоновано комплексний підхід до вирішення проблеми забруднення водних ресурсів, що включає вдосконалення технологій очищення стічних вод, посилення контролю за скидами та проведення регулярного моніторингу якості води.

Ключові слова: екологічна безпека, сталий розвиток, моніторинг, антропогенний вплив, нормативні стандарти, забруднення.

KIREITSEVA HANNA**TSYHANENKO-DZIUBENKO ILLIA**

Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine

ANTHROPOGENIC DETERMINANTS OF HYDROCHEMICAL INDICATORS DEGRADATION IN WATER BODIES

This article explores the main causes of anthropogenic water pollution and factors contributing to the exceedance of regulatory water quality indicators. The research systematically analyzes the complex interactions between human activities and water quality deterioration in natural water bodies. The study provides a comprehensive classification of pollution sources according to their impact on general sanitary and specific water quality indicators, which corresponds to the classification adopted in Ukrainian regulatory documents and the EU Water Framework Directive.

The analysis reveals that industrial effluents, agricultural runoff, municipal wastewater, and urbanization processes are the primary contributors to water quality deterioration. Industrial pollution, particularly from metallurgical, chemical, and oil-refining industries, introduces toxic substances and heavy metals into water bodies. Agricultural activities contribute significant amounts of pesticides and fertilizers, leading to eutrophication and disruption of aquatic ecosystems. Improper treatment of municipal wastewater results in microbiological contamination and organic pollution.

The research pays special attention to heavy metals and persistent organic pollutants, which pose the greatest threat to aquatic ecosystems and public health due to their high toxicity, bioaccumulation capacity, and persistence in the aquatic environment. The study establishes that most cases of water quality deterioration have complex nature, with simultaneous exceedance of both general sanitary and specific indicators, complicating the self-purification processes of water bodies.

Based on the findings, the article substantiates the necessity of an integrated approach to solving water pollution problems, including the improvement of wastewater treatment technologies, strengthening control over industrial and agricultural discharges, developing sustainable water supply and sewerage infrastructure, and conducting regular water quality monitoring in accordance with national and EU requirements. The practical significance of the research lies in creating a methodological basis for targeted planning of water protection activities aimed at eliminating specific factors of water quality deterioration. The study also outlines prospects for further research, including the development of predictive models and innovative remediation methods.

Keywords: environmental safety, sustainable development, monitoring, anthropogenic impact, regulatory standards, pollution.

Постановка проблеми

Забруднення водних ресурсів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, що має глобальний характер та серйозні наслідки для довкілля і здоров'я населення. Різноманітні антропогенні чинники, такі як промислові та сільськогосподарські стоки, комунальні відходи, урбанізація та видобуток корисних копалин, призводять до суттєвого погіршення якості води у природних водоймах. На сьогодні в Україні якість води регламентується низкою нормативно-правових актів, зокрема Водним кодексом України [1], Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» [2] та іншими документами, що встановлюють гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у воді різного призначення. Варто зазначити, що в рамках гармонізації законодавства з ЄС, Україна впроваджує вимоги Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС [3], яка передбачає комплексний підхід до оцінки стану водних ресурсів.

Перевищення нормативних показників якості води спостерігається як за загально-санітарними (рН, розчинений кисень, БСК, ХСК, вміст нітратів, фосфатів), так і за специфічними (феноли, нафтопродукти, важкі метали, пестициди) параметрами, що спричиняє порушення функціонування

водних екосистем та створює загрози для здоров'я людей. Відповідно до постанови КМУ № 758 від 19.09.2018 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» [4], в Україні здійснюється моніторинг стану водних ресурсів, однак, попри існуючу систему контролю, проблема забруднення води залишається актуальною. Особливе занепокоєння викликає забруднення важкими металами, для яких встановлені особливо жорсткі вимоги згідно з наказом Міністерства аграрної політики України № 471 від 30.07.2012 [5], зважаючи на їх токсичність для водних організмів та людини.

Незважаючи на численні дослідження в цій галузі, існує потреба у систематизації та узагальненні наукових даних щодо причин забруднення водних об'єктів та перевищення гранично допустимих концентрацій різних забруднюючих речовин. Комплексний аналіз основних джерел та механізмів забруднення води дозволить розробити ефективні заходи з охорони водних ресурсів та забезпечення населення якісною питною водою відповідно до вимог як національного законодавства, так і міжнародних стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Забруднення водних ресурсів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, що має глобальний характер та серйозні наслідки як для здоров'я людини, так і для стабільності екосистем. Всебічний аналіз наукової літератури дозволяє виокремити декілька основних категорій антропогенного впливу на водні ресурси. Промислове забруднення водних ресурсів є одним із найбільш серйозних чинників погіршення якості води. Хасан (Hasan), Шахріар (Shahriar) та Джим (Jim) [6] у своєму дослідженні відзначають, що індустріалізація стала головним джерелом забруднення водойм токсичними металами та хімічними речовинами. Азізулла (Azizullah) та співавтори [7] підкреслюють, що промислові стоки містять широкий спектр забруднювачів, включаючи миш'як, свинець і нітрати, які можуть спричинити серйозні захворювання серцево-судинної, сечовидільної та нервової систем. Алрумман (Alrumman), Ель-котт (El-kott) та Кешк (Keshk) [8] зазначають, що промислові підприємства часто нехтують нормами скидів стічних вод, що призводить до систематичного забруднення водних об'єктів. Згідно з дослідженням Фн (Fn) та Мф (Mf) [9], саме промислове забруднення є найбільш небезпечним через наявність стійких органічних забруднювачів та важких металів, які практично не розкладаються у природному середовищі. Гаджар (Gajjar) [10] акцентує увагу на тому, що в країнах, що розвиваються, проблема промислового забруднення стоїть особливо гостро через недостатнє законодавче регулювання та контролю за скидами.

Інтенсифікація сільськогосподарства та широке використання агрохімікатів стали значним джерелом забруднення водних ресурсів. Чатурведі (Chaturvedi), Чакраборті (Chakraborty) та А. [11] детально проаналізували вплив сільськогосподарських забруднювачів на водні ресурси та виявили, що стоки з полів, які містять пестициди та добрива, спричиняють евтрофікацію водойм та порушення їх екологічної рівноваги. Хасан (Hasan) та співавтори [6] підкреслюють, що нітрати, які потрапляють у водойми з полів, становлять серйозну загрозу для здоров'я людини, особливо дітей. Азізулла (Azizullah) та колеги [7] відзначають, що в країнах, де сільське господарство є основою економіки, забруднення води агрохімікатами набуває катастрофічних масштабів.

Неправильна утилізація побутових відходів та недостатнє очищення комунальних стічних вод є вагомим чинником забруднення водних ресурсів. Афроз (Afroz), Масуд (Masud), Ахтар (Akhtar) та Дуаса (Duasa) [12] у своєму дослідженні показали, що в багатьох країнах, що розвиваються, побутові стічні води скидаються у природні водойми без належного очищення. Хасан (Hasan) та співавтори [6] зазначають, що побутові стоки часто містять патогенні мікроорганізми, зокрема коліформні бактерії, які спричиняють спалахи захворювань, що передаються через воду, таких як холера та дизентерія. Азізулла (Azizullah) та колеги [7] підкреслюють, що відсутність ефективних систем очищення стічних вод у густонаселених районах є однією з головних причин забруднення питних джерел води.

Процеси урбанізації та зростання чисельності населення посилюють проблему забруднення водних ресурсів. Фн (Fn) та Мф (Mf) [9] виявили пряму залежність між рівнем урбанізації та ступенем забруднення водойм. Вони відзначають, що розширення міських територій призводить до збільшення обсягів побутових та промислових відходів, що часто перевищує можливості наявних систем управління відходами. Гаджар (Gajjar) [13] зазначає, що в багатьох мегаполісах світу інфраструктура водопостачання та водовідведення не встигає за швидкими темпами урбанізації, що призводить до систематичних проблем із якістю води.

Особливу небезпеку для водних екосистем становлять важкі метали, які потрапляють у водойми внаслідок антропогенної діяльності. Замора-Ледезма (Zamora-Ledezma) та співавтори [14] детально дослідили шляхи надходження важких металів у водне середовище та їх вплив на здоров'я людини. Вони відзначають, що такі метали, як кадмій, ртуть і миш'як, є особливо токсичними навіть у низьких концентраціях. Циганенко-Дзюбенко І. та Кірейцева Г. спільно з іншими дослідниками [15, 16, 17] провели серію досліджень з оцінки забруднення важкими металами урбанізованих водних об'єктів України, зокрема в постмілітарних умовах. Їхні дослідження виявили значне забруднення важкими металами річок Тетерів та Кам'янка, а також зміни у розподілі сполук важких металів у урбогідротопах Київської області після військових дій. Кірейцева Г. та співавтори [17] дослідили токсичний вплив війни на довкілля України, зокрема на водні ресурси, виявивши значне підвищення рівня забруднення важкими металами та іншими токсичними речовинами внаслідок військових дій.

Аналіз літературних джерел свідчить, що основними причинами забруднення водних ресурсів є: промислові стоки, що містять токсичні речовини та важкі метали; сільськогосподарські стоки з високим вмістом пестицидів та добрив; неналежне очищення побутових стічних вод; урбанізація та недостатній розвиток інфраструктури водопостачання та водовідведення; забруднення важкими металами внаслідок промислової діяльності та військових дій.

Проаналізовані дослідження підкреслюють необхідність комплексного підходу до вирішення проблеми забруднення водних ресурсів, що включає вдосконалення технологій очищення стічних вод, посилення контролю за промисловими та сільськогосподарськими скидами, розвиток сталोї інфраструктури водопостачання та водовідведення, а також проведення регулярного моніторингу якості води.

Метою даного дослідження є систематизація наукових досліджень щодо основних чинників забруднення води та узагальнення причин перевищення норм загально-санітарних та специфічних показників якості води.

Виклад основного матеріалу

Аналіз якості води у природних водоймах потребує комплексного підходу, що враховує численні фізико-хімічні показники та їх відповідність нормативним значенням. Систематизація причин перевищення нормативів дозволяє виявити джерела забруднення та розробити ефективні заходи з охорони водних ресурсів. Проведене дослідження виявило широкий спектр чинників, що призводять до погіршення якості води за різними показниками. Ці чинники можна умовно розділити на дві основні групи:

- ті, що спричиняють перевищення норм загально-санітарних показників;
- ті, що призводять до перевищення специфічних показників.

Такий поділ здійснюється відповідно до декількох нормативних документів та має методичне обґрунтування. Поділ показників на загально-санітарні та специфічні відповідає класифікації, прийнятій у «Методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [18]. У цьому документі показники якості води поділяються на три основні блоки: сольовий склад, трофо-сапробіологічні (загально-санітарні) показники та специфічні речовини токсичної дії. Також цей поділ узгоджується з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [19], де виділяються: загальні фізико-хімічні показники (включають показники органіолептичних властивостей, мінералізації та вмісту органічних речовин) та санітарно-токсикологічні показники (включають показники вмісту токсичних речовин, у тому числі специфічних забруднювачів). Крім того, при імplementації Водної рамкової директиви ЄС (2000/60/ЄС) в Україні, згідно з наказом Міністерства екології та природних ресурсів України № 45 від 06.02.2017 «Про затвердження Переліку забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» [20], виділяються: пріоритетні речовини (відповідають специфічним забруднювачам); басейнові специфічні речовини (також відповідають специфічним забруднювачам); загальні фізико-хімічні показники. Такий поділ є релевантним з точки зору методики оцінки якості води та практики природоохоронної діяльності, оскільки загально-санітарні показники характеризують загальний стан водного об'єкта та формуються під впливом як природних, так і антропогенних чинників, а специфічні показники переважно пов'язані з конкретними видами антропогенного впливу та мають здебільшого токсикологічне значення. Таким чином, поділ на загально-санітарні та специфічні показники відповідає усталеній практиці нормування якості води, закріпленій у відповідних нормативних документах, і має науково-методичне обґрунтування.

Розглянемо детальніше причини перевищення нормативів загально-санітарних показників (таблиця 1). Один із ключових параметрів якості води – кислотність (рН) – може змінюватися під впливом промислових стічних вод, солей важких металів, органічних гумусових кислот та похідних вуглекислого газу. Цей показник суттєво впливає на розчинність багатьох речовин у воді та на життєдіяльність водних організмів. Перевищення нормативів вмісту розчиненого кисню, а також показників ХСК, окислювальності перманганатної, БСК5 та БСК20 свідчить про наявність у воді забруднюючих органічних і неорганічних речовин, які потребують окиснення. Ці показники є індикаторами органічного забруднення водойм і напряду пов'язані з процесами самоочищення водних екосистем. На загальну лужність води, як показано в таблиці 1, впливають різноманітні фактори навколишнього середовища, включаючи атмосферні опади, дезінфікуючі речовини та додавання води. Найбільший внесок у лужність поверхневих вод робить карбонат кальцію (CaCO_3), що вилучається з гірських порід та ґрунту. Цей процес посилюється при порушенні цілісності літосфери, зокрема внаслідок гірничодобувної промисловості та урбанізації. Особливу увагу варто приділити біогенним елементам – сполукам азоту та фосфору. З таблиці 1 видно, що аміак, нітрити та нітрати потрапляють у водойми переважно внаслідок антропогенної діяльності. Зокрема, аміак по азоту надходить із агрохімікатами та фекаліями зі стічними водами. Нітрити є проміжною формою у процесах нітрифікації та денітрифікації і можуть потрапляти у поверхневі води при застосуванні їх як інгібіторів корозії, а також зі стічними водами харчової промисловості та сільськогосподарським стоком. Нітрати утворюються в результаті нітрифікації амонійних іонів та надходять з атмосферними опадами, промисловими і побутовими стічними водами, стоком із сільськогосподарських угідь, де

використовуються азотні добрива. Фосфати та загальний фосфор потрапляють у водойми переважно з миючими засобами через стічні води, а також внаслідок сільськогосподарської та побутової діяльності. Підвищений вміст фосфатів стимулює розвиток синьо-зелених водоростей, що призводить до евтрофікації водойм. Мінеральний склад води характеризується такими показниками як загальна жорсткість, вміст кальцію, магнію, хлоридів, сульфатів, натрію, калію, а також мінералізацією (сумою іонів) та сухим залишком. Як видно з таблиці 1, підвищена жорсткість води зумовлена великим вмістом солей кальцію та магнію, які потрапляють у водойми як природним шляхом (вивітрювання та розчинення гірських порід), так і внаслідок антропогенної діяльності (скиди стічних вод промислових підприємств).

Таблиця 1

Причини перевищення норми загально-санітарних показників

(сформовано автором за джерелами [21-26])

Показники якості води	Можливі причини перевищення норми
Кислотність, рН	На величину рН води можуть впливати такі фактори: забруднення вод промисловими стічними водами; солі важких металів, органічні гумусові кислоти, вміст вуглекислого газу та його похідні.
Розчинений кисень, мг/дм ³	Перевищення показників свідчить про наявність забруднюючих неорганічних і органічних речовин різного походження, які потребують окиснення.
ХСК, мгО/дм ³	
Окислювальність перманганатна, мгО/дм ³	
БСК ₅ , мгО/дм ³	
БСК ₂₀ , мгО/дм ³	
Лужність, мг-екв./дм ³	На загальну лужність впливають фактори навколишнього середовища: дощ, дезінфікуючі речовини, додавання води та ін. Найбільша лужність у поверхневій воді походить від карбонату кальцію СаСО ₃ , що вилучається з порід та ґрунту. Цей процес посилюється, якщо гірські породи та ґрунт роз'єднати з будь-якої причини, наприклад, гірничодобувна промисловість чи міський розвиток.
Аміак по азоту, мг/дм ³	Причинами є: потрапляння агрохімікатів та фекалій зі стічними водами
Нітрити, мг/дм ³	Нітрити є проміжною формою у ланцюзі бактеріальних процесів окислення амонію до нітратів (нітрифікація – в аеробних умовах) і, навпаки, відновлення нітратів до азоту та аміаку (денітрифікація – при нестачі кисню). Нітрати надходять у поверхневі води при застосуванні нітритів в якості інгібіторів корозії у водо підготовці технологічної води, зі скидами стічних вод харчової промисловості, стоком з сільськогосподарських угідь. Нітрати потрапляють у поверхневі води за рахунок внутрішньоводоймових процесів нітрифікації амонійних іонів під дією нітрифікуючих бактерій, з атмосферними опадами, скидами промислових і побутових стічних вод, стоком з сільськогосподарських угідь, в яких містяться азотні добрива.
Нітрати, мг/дм ³	
Залізо загальне, мг/дм ³	Сполуки заліза потрапляють у поверхневі води з підземним стоком, зі стічними водами галузей промисловості та сільського господарства, зливовими водами, поверхневим стоком, стічними водами з сільськогосподарських угідь.
Фосфати, мг/дм ³	Фосфати — хімічні сполуки, що містяться у миючих засобах для покращення їх властивостей. Вони потрапляють у річку зі стічними водами і слугують добривом для синьо-зелених водоростей.
Фосфор загальний, мг/дм ³	Більша частина сполук фосфору потрапляє у водойми в результаті сільськогосподарської та побутової діяльності людини. Цей елемент застосовується в складі мінеральних добрив і мийних засобів.
Загальна жорсткість, мг-екв./дм ³	Підвищена жорсткість води викликана великим вмістом солей кальцію або магнію.
Кальцій, мг/дм ³	Джерелами надходження кальцію у поверхневі води є процеси хімічного вивітрювання та розчинення мінералів (вапняків, доломітів, гіпсу), силікатів та інших осадових і метаморфічних порід, скиди стічних вод силікатної, металургійної, скляної та хімічної промисловості, скиди стічних вод з сільськогосподарських угідь, в яких містяться у складі мінеральних добрива міститься кальцій
Магній, мг/дм ³	Магній у поверхневі води надходить переважно завдяки процесам хімічного вивітрювання і розчинення доломітів, мергелів та інших мінералів. Значні кількості магнію можуть надходити у водні об'єкти зі стічними водами металургійних, силікатних, текстильних тощо підприємств.

Продовження таблиці 1

Хлориди, мг/дм ³	Джерелами надходження хлоридів у поверхневі води є магматичні породи, до складу яких входять хлоромісні мінерали, взаємодія атмосферних опадів з ґрунтами, скиди побутових і промислових стічних вод.
Сульфати, мг/дм ³	Вміст сульфатів у поверхневих водах зумовлений процесами вивітрювання гірських порід, розчинення сірковмісних мінералів, окиснення сульфідів і сірки, відмирання водних організмів, окиснення речовин рослинного та тваринного походження, з підземним стоком, скидами шахтних вод, стічних вод галузей промисловості, житлово-комунального та сільського господарства.
Натрій, мг/дм ³	Нітрати потрапляють у поверхневі води за рахунок внутрішньоводоймових процесів нітрифікації амонійних іонів під дією нітрифікуючи бактерій, з атмосферними опадами, скидами промислових і побутових стічних вод, стоком з сільськогосподарських угідь, в яких містяться азотні добрива. Пониження концентрацій нітратів пов'язане зі споживанням їх фітопланктоном і денітрифікуючими бактеріями.
Амоній сольовий, мг/дм ³	Джерелами надходження амонію сольового у поверхневі води пов'язано є скиди стічних вод тваринницьких ферм, скиди побутових стічних вод, стічних вод харчової лісохімічної та хімічної промисловості, поверхневий стік з сільськогосподарських угідь, в яких містяться амонійні добрива.
Калій, мг/дм ³	Різні сполуки калію широко використовуються в промисловості, сільському господарстві, піротехніці, для одержання галууну, в кіно-фотопромисловості тощо. Широке використання вони знаходять у сільському господарстві як мінеральні добрива
Кремній, мг/дм ³	Сполуки кремнію потрапляють у поверхневі води за рахунок процесів хімічного вивітрювання та розчинення мінералів, що містять кремній, процесу відмирання водних рослин, з атмосферними опадами, скидами стічних вод підприємств, що виробляють керамічні, цементні, скляні вироби, силікатні фарби, в'язучі матеріали, кремнійорганічні каучуки.
Мінералізація (сума іонів), мг/дм ³	Наявність іонів амонію в поверхневих водоймах пов'язано в основному із процесами біохімічного руйнування органічних сполук, як наслідок скиду в поверхневі водойми господарських і побутових стічних вод
Сухий залишок, мг/дм ³	Сухий залишок – загальний вміст у воді нелетких органічних і мінеральних домішок у вигляді неорганічних (бікарбонати, хлориди та сульфати кальцію, магнію, калію і натрію) та деяких органічних солей, розчинних у воді. Концентрація сухого залишку залежить від геологічних особливостей водозбірної басейну річки, потраплення вказаних солей зі скидами промислових стічних вод, зливовими водами.

Стосовно специфічних показників якості води (таблиця 2), їх перевищення пов'язане переважно з промисловою діяльністю та сільським господарством.

Таблиця 2

Причини перевищення норми специфічних показників (сформовано автором за джерелами [21-26])

Показники якості води	Можливі причини перевищення норми
Феноли, мг/дм ³	Джерелом фенолу є промислові стоки. Ці хімічні речовини дуже широко використовуються в промисловості для виробництва полімерів, барвників, поверхнево-активних речовин, пестицидів, медичних препаратів та ін.
Нафтопродукти, мг/дм ³	Нафтопродукти надходять у поверхневі водні об'єкти при скиданні у водойми неочищених олійних стоків підприємствами металургійної, металообробної, машинобудівної, нафтовидобувної та нафтопереробної промисловості.
Фтор, мг/дм ³	Основними джерелами надходження фтору в поверхневі води є фторомісні мінеральні добрива, хімічні меліоранти, стічні води, викиди промислових підприємств і транспорту.
СПАР, мг/дм ³	СПАР – це неорганічні та органічні речовини, що здатні утворювати піну на поверхні води. До цих речовин відносять миючі, зволожуючі, емульгуючі, дезінфікуючі та інші препарати. СПАР надходять у поверхневі води зі скидами побутовими стічних вод, скидами стічних вод нафтової та текстильної промисловості.
Хром, мг/дм ³	Хром надходить у поверхневі води у процесі хімічного вилуговування його сполук з гірських порід і мінералів, з ґрунтів у районах рудних родовищ, зі скидами стічними водами гальванічних і хімічних виробництв, текстильної та шкіряної промисловості.

Продовження таблиці 2

Мідь, мг/дм ³	Джерелами надходження міді у поверхневі води є гірські породи, реагенти, що містять мідь, скиди стічних вод хімічних і металургійних виробництв, стічних вод з сільськогосподарських угідь, шахтні води. Властивості міді у поверхневих водах залежать від величини рН, концентрації в них карбонатів, хлоридів і сульфатів. Мідь у воді має сильно виражену здатність сорбуватися завислими частками ґрунтів і гірських порід. У малих концентраціях мідь надає воді неприємного в'язучого присмаку.
Цинк, мг/дм ³	Цинк потрапляє у природні води в результаті природних процесів руйнування і розчинення гірських порід та мінералів, також зі стічними водами рудозбагачувальних фабрик і гальванічних цехів, виробництв пергаментного паперу, мінеральних фарб, віскозного волокна та ін.
Марганець, мг/дм ³	Джерелами надходження марганцю у поверхневі води є залізо-марганцеві руди та деякі мінерали, процеси відмирання та розкладання гідро біонтів (синьо-зелених і діатомових водоростей, вищих водних рослин), стічні води марганцевих збагачувальних фабрик, металургійних заводів, підприємств хімічної промисловості, шахтні води. Марганець бере участь у процесах фотосинтезу, реакціях фотолізу води та виділення кисню.
Кадмій, мг/дм ³	Найсерйознішими забруднювачами вод кадмієм є підприємства гірничо-металургійного комплексу
Свинець, мг/дм ³	Основними джерелами надходження свинцю в воду є: природні мінерали, що містять свинець є одним з основних його джерел); кольорова (98%) і чорна металургія (2%); машинобудування, паливна промисловість та енергетика; хімічна промисловість.
Пестициди, мг/дм ³	Інтенсивне застосування цих речовин у сільському господарстві призводить до проникнення їх у ґрунтові води і подальшого потрапляння в річки та водойми. Деякі пестициди мають велику стійкість до розкладання і можуть зберігатися в ґрунті та воді протягом багатьох років. Так, у різних країнах світу в воді відкритих водойм виявлено ДДТ, алдрин, гексахлорбензол та інші небезпечні речовини, виробництво і використання яких давно заборонено.

Зокрема, феноли надходять у водойми з промисловими стоками підприємств, що виробляють полімери, барвники, поверхнево-активні речовини, пестициди та медичні препарати. Нафтопродукти потрапляють у поверхневі води при скиданні неочищених стоків підприємствами металургійної, металообробної, машинобудівної, нафтовидобувної та нафтопереробної промисловості. Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), згідно з таблицею 2, надходять у поверхневі води зі скидами побутових стічних вод, а також стоками нафтової та текстильної промисловості. Ці речовини здатні утворювати піну на поверхні води та включають миючі, зволожуючі, емульгуючі та дезінфікуючі препарати. Особливу небезпеку для водних екосистем становлять важкі метали (хром, мідь, цинк, марганець, кадмій, свинець), джерела надходження яких детально описані в таблиці 2. Ці метали мають високу токсичність і здатність до біоаккумуляції, що призводить до порушення функціонування водних організмів та становить загрозу для здоров'я людей. Пестициди, як показано в таблиці 2, потрапляють у водойми внаслідок інтенсивного застосування у сільському господарстві. Деякі з них мають значну стійкість до розкладання і можуть зберігатися у ґрунті та воді протягом багатьох років, накопичуючись у харчових ланцюгах.

Висновки

1. Проведене дослідження дозволило систематизувати основні причини забруднення водних ресурсів та перевищення нормативів якості води. Встановлено, що погіршення якості води за загально-санітарними показниками (рН, розчинений кисень, БСК, ХСК, біогенні елементи) та специфічними показниками (феноли, нафтопродукти, СПАР, важкі метали, пестициди) має переважно антропогенне походження.

2. Аналіз літературних джерел засвідчив, що основними джерелами забруднення водних об'єктів є: промислові підприємства (особливо металургійної, хімічної, нафтопереробної галузей), сільськогосподарська діяльність (використання мінеральних добрив, пестицидів), комунальне господарство (недостатньо очищені стічні води), гірничодобувна промисловість та урбанізація.

3. Встановлено, що поділ показників якості води на загально-санітарні та специфічні відповідає класифікації, прийнятій у нормативно-правових документах України та ЄС, що має науково-методичне обґрунтування та практичне значення для оцінки стану водних ресурсів та розробки природоохоронних заходів.

4. Визначено, що найбільшу небезпеку для водних екосистем та здоров'я населення становлять важкі метали та стійкі органічні забруднювачі, які характеризуються високою токсичністю, здатністю до біоаккумуляції та тривалого перебування у водному середовищі.

5. Обґрунтовано необхідність комплексного підходу до вирішення проблеми забруднення водних ресурсів, що включає вдосконалення технологій очищення стічних вод, посилення контролю за

промисловими та сільськогосподарськими скидами, розвиток сталої інфраструктури водопостачання та водовідведення, а також проведення регулярного моніторингу якості води згідно з вимогами національного законодавства та Водної рамкової директиви ЄС.

6. Перспективами подальших досліджень є розробка системи заходів щодо запобігання забрудненню водних ресурсів та відновлення якості води у порушених водних об'єктах, а також удосконалення методики оцінки ризиків для здоров'я населення, пов'язаних із вживанням води з перевищенням нормативних показників.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що систематизовані дані щодо причин перевищення нормативів якості води можуть бути використані при розробці та впровадженні ефективних природоохоронних заходів на регіональному та місцевому рівнях. Класифікація джерел забруднення водних ресурсів за їх впливом на загально-санітарні та специфічні показники створює методичну основу для цільового планування водоохоронної діяльності, спрямованої на усунення конкретних чинників погіршення якості води. Результати дослідження дозволяють прогнозувати зміни гідрохімічних параметрів водних об'єктів в умовах різних видів антропогенного навантаження та оптимізувати систему екологічного моніторингу водних ресурсів шляхом зосередження уваги на найбільш інформативних показниках забруднення.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою інтегрованих підходів до оцінки антропогенного навантаження на водні екосистеми та впровадженням інноваційних методів очищення води з урахуванням регіональних особливостей забруднення. Важливим напрямом є дослідження синергетичних ефектів при одночасній дії різних забруднюючих речовин на водні організми та здоров'я людини, що дозволить обґрунтувати нові критерії оцінки екологічних ризиків. Актуальним залишається питання удосконалення методики моніторингу водних об'єктів відповідно до принципів Водної рамкової директиви ЄС та розвиток басейнового підходу до управління водними ресурсами з урахуванням регіональних джерел забруднення. Перспективним напрямом є також створення геоінформаційних систем та математичних моделей для прогнозування зміни якості води під впливом кліматичних змін та антропогенних факторів..

Література

1. Верховна Рада України. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр> (дата звернення: 08.02.2025).
2. Верховна Рада України. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 08.02.2025).
3. Європейський Парламент і Рада ЄС. Директива 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: 28.12.2024).
4. Кабінет Міністрів України. Постанова "Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод" від 19.09.2018 № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-п> (дата звернення: 08.02.2025).
5. Міністерство аграрної політики України. Наказ "Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах" від 30.07.2012 № 471. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12> (дата звернення: 08.02.2025).
6. Hasan M., Shahriar A., Jim K. Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*. 2019. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
7. Afroz R., Masud M., Akhtar R., Duasa J. Water Pollution. *Environment and Urbanization Asia*. 2014. Vol. 5. P. 63-81. DOI: <https://doi.org/10.1177/0975425314521544>
8. Alrumman S., El-kott A., Keshk S. Water Pollution: Source & Treatment. *American Journal of Environmental Engineering*. 2016. Vol. 6. P. 88-98.
9. Azizullah A., Khattak M., Richter P., Häder D. Water pollution in Pakistan and its impact on public health--a review. *Environment international*. 2011. Vol. 37(2). P. 479-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.007>
10. Chaturvedi G., Chakraborty M., A. Impacts of agricultural pollutants on water resources and their management. *Annals of The Entomological Society of America*. 2020. P. 29-40. DOI: <https://doi.org/10.26832/aesa-2020-aepm-03>
11. Fn C., Mf M. Factors Affecting Water Pollution: A Review. *Journal of Ecosystem & Ecography*. 2017. P. 1-3. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
12. Gajjar S. Water Pollution: Review Article. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.4259>
13. Zamora-Ledezma C., Negrete-Bolagay D., Figueroa F., Zamora-Ledezma E., Ni M., Alexis F., Guerrero V. Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Environmental Technology and Innovation*. 2021. Vol. 22. P. 101504. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101504>

14. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Fonseca Araújo J. Physiological and biochemical biomarkers of macrophyte resilience to military-related toxic stressors. *Journal Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, №4. P. 227–234. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2024.04.227>
15. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L., Vovk V. Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>
16. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L. Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066>
17. Kireitseva H., Demchuk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80. P. 267-276. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2170582>
18. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукінський, О. П. Оксіюк, А. В. Яцик. К.: [б. в.], 1998. 28 с.
19. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ "Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10)" від 12.05.2010 № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 08.02.2025).
20. Міністерство екології та природних ресурсів України. Наказ "Про затвердження Переліку забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод" від 06.02.2017 № 45. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17> (дата звернення: 08.04.2025).
21. Волинські річки перенасичені залізом. Екологи радять не пити сиру водицю – роботом станеш. URL: https://www.volynnews.com/news/volyn/volynski_richky_perenasycheni_zalizom_ekolohy_radyat_ne_pyty_s_yru_vodytsyu_robotom_stanesh/ (дата звернення: 05.01.2025).
22. Нітрати в воді. URL: <https://ecosoft.ua.ua/blog/nitraty-v-vode/> (дата звернення: 05.01.2025).
23. Jarvie H., Withers J., Neal C. Review of robust measurement of phosphorus in river water: Sampling, storage, fractionation and sensitivity. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2002. Vol. 6. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-6-113-2002>
24. Загальна лужність як властивість води. URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/906-zahalna-luzhnist-ia-k-vlastyvist-vody> (дата звернення: 05.01.2025).
25. Чим небезпечне вживання забрудненої аміаком води? Поради науковця. URL: <https://labprice.ua/statti/naukovo-populyarni-statti/chim-nebezpechne-vzhivannya-zabrudnenoyi-amiakom-vodi-poradi-naukovtsya/> (дата звернення: 05.01.2025).
26. Моніторинг якості води на питних водозаборах у 2017 році. URL: <https://rovrosi.gov.ua/monitoring-jakosti-vodi-na-pitnih-vodozaborah-u-2017-roci.html> (дата звернення: 05.01.2025).

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. Water Code of Ukraine dated 06.06.1995 No. 213/95-VR. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-vr> (accessed: 08.02.2025).
2. Verkhovna Rada of Ukraine. Law of Ukraine "On Environmental Protection" dated 25.06.1991 No. 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (accessed: 08.02.2025).
3. European Parliament and Council of the EU. Directive 2000/60/EC of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (accessed: 28.12.2024).
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution "On Approval of the Procedure for State Water Monitoring" dated 19.09.2018 No. 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-p> (accessed: 08.02.2025).
5. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. Order "On Approval of Environmental Safety Standards for Water Bodies Used for Fishery Purposes Regarding Maximum Permissible Concentrations of Organic and Mineral Substances in Marine and Fresh Waters" dated 30.07.2012 No. 471. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12> (accessed: 08.02.2025).
6. Hasan M., Shahriar A., Jim K. Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*. 2019. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
7. Afroz R., Masud M., Akhtar R., Duasa J. Water Pollution. *Environment and Urbanization Asia*. 2014. Vol. 5. P. 63–81. DOI: <https://doi.org/10.1177/0975425314521544>
8. Alrumman S., El-kott A., Keshk S. Water Pollution: Source & Treatment. *American Journal of Environmental Engineering*. 2016. Vol. 6. P. 88–98.
9. Azizullah A., Khattak M., Richter P., Häder D. Water pollution in Pakistan and its impact on public health—a review. *Environment International*. 2011. Vol. 37(2). P. 479–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.007>
10. Chaturvedi G., Chakraborty M., A. Impacts of agricultural pollutants on water resources and their management. *Annals of The Entomological Society of America*. 2020. P. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.26832/aesa-2020-aepm-03>
11. Fn C., Mf M. Factors Affecting Water Pollution: A Review. *Journal of Ecosystem & Ecography*. 2017. P. 1–3. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
12. Gajjar S. Water Pollution: Review Article. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.4259>

13. Zamora-Ledezma C., Negrete-Bolagay D., Figueroa F., Zamora-Ledezma E., Ni M., Alexis F., Guerrero V. Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Environmental Technology and Innovation*. 2021. Vol. 22. P. 101504. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101504>
14. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Fonseca Araújo J. Physiological and biochemical biomarkers of macrophyte resilience to military-related toxic stressors. *Journal Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, No. 4. P. 227–234. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2024.04.227>
15. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L., Vovk V. Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>
16. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L. Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohdytopos of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520066>
17. Kireitseva H., Demchuk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80. P. 267–276. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2170582>
18. Romanenko V.D., Zhukinsky V.M., Oksiyuk O.P., Yatsyk A.V. Methodology for Environmental Assessment of Surface Water Quality by Appropriate Categories. Kyiv: [n.p.], 1998. 28 p.
19. Ministry of Health of Ukraine. Order "On Approval of the State Sanitary Rules and Regulations 'Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption' (DSanPiN 2.2.4-171-10)" dated 12.05.2010 No. 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (accessed: 08.02.2025).
20. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Order "On Approval of the List of Pollutants for Determining the Chemical Status of Surface and Groundwater Bodies and the Ecological Potential of Artificial or Heavily Modified Surface Water Bodies" dated 06.02.2017 No. 45. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17> (accessed: 08.04.2025).
21. Volyn rivers are oversaturated with iron. Ecologists advise not to drink raw water – you'll become a robot. URL: https://www.volynnews.com/news/volyn/volynski_richky_perenasycheni_zalizom_ekolohy_radyat_ne_pyty_syru_vodytsyu_robotom_st_anesh/ (accessed: 05.01.2025).
22. Nitrates in water. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/nitraty-v-vode/> (accessed: 05.01.2025).
23. Jarvie H., Withers J., Neal C. Review of robust measurement of phosphorus in river water: Sampling, storage, fractionation and sensitivity. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2002. Vol. 6. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-6-113-2002>
24. Total alkalinity as a property of water. URL: <https://ekspertiza.com.ua/uk/tse-korisno-znati/906-zahalna-luzhnist-iak-vlastyvist-vody> (accessed: 05.01.2025).
25. What is the danger of drinking water contaminated with ammonia? Scientist's advice. URL: <https://labprice.ua/statti/naukovo-populyarni-statti/chim-nebezpechne-vzhivannya-zabrudnenoyi-amiakom-vodi-poradi-naukovtstva/> (accessed: 05.01.2025).
26. Monitoring of water quality at drinking water intakes in 2017. URL: <https://rovrosi.gov.ua/monitoring-jakosti-vodi-na-pitnih-vodozaborah-u-2017-roci.html> (accessed: 05.01.2025).