

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ГЕОЕКОЛОГІЇ І ЗЕМЛЕУСТРОЮ

«Допущено до захисту»
протокол засідання кафедри
№ 6 від «19» січня 2026 року
Зав. кафедрою ГЕЗ
к.с.-г.н, доцент _____ Максим ГАНЧУК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

СВО «Магістр»
за освітньо-професійною програмою «Екологія»
зі спеціальності 101 «Екологія»

на тему:

**ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ
ВОД УКРАЇНИ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ**

13 ГЗ Д 004 000000 ПЗ

Виконала: <u>студентка</u>	<u>21МБЕК групи</u>		Дарина СЕНДЕЛІ
		(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник: доцент			Ельнара АЮБОВА
	(науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Консультант з ОП: доцент			Михайло ЗОРЯ
	(науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль			Вікторія СКИБА
	(науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет	<u>агротехнологій та екології</u>
Кафедра	<u>геоекології і землеустрою</u>
Освітній рівень	<u>Магістр</u>
Галузь знань	<u>10 Природничі науки</u>
Спеціальність	<u>101 Екологія</u>
Освітня програма	<u>Екологія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

к.с.-г.н., доцент _____Максим ГАНЧУК

« 10 » жовтня 2025 р

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

СТУДЕНТКИ _____Сенделі Дар`я Олегівна_____

1. Тема роботи: " Вплив воєнних дій на екологічний стан поверхневих вод України та оцінка екологічних ризиків "

керівник роботи к.с.-г.н., доцент Аюбова Ельнара Мусаїбовна

затверджені наказом Ректора університету від «31»_жовтня 2025 р. № _585/2-С

2. Строк подання студентом роботи « 31 » _січня 2026 р.

Вихідні дані до роботи: статистичні матеріали, національні інвентаризаційні звіти, міжнародні бази даних, нормативно-правові документи та наукові публікації, що стосуються обліку та аналізу викидів парникових газів в Україні.

Перелік питань, які потрібно розробити: концептуально-методологічні засади вивчення впливу збройного конфлікту на поверхневі водні об'єкти; ефекти впливу збройного конфлікту на гідросферні об'єкти окремих регіонів України; діагностика екологічних ризиків та прогнозна оцінка стану поверхневих водних ресурсів.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв (підпис)
Охорона праці в галузі	Михайло Зоря, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	15.10.2025	

3. Дата видачі завдання

15.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломної роботи (проекту)	Термін виконання етапів роботи чи проекту (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Огляд літератури	15.10.2025-20.10.2025	виконано
Аналітичний огляд науково-технічної літератури за темою	20.10.2025-15.11.2025	Виконано
Об'єкти, методика та умови проведення досліджень	15.11.2025-20.11.2025	Виконано
Результати досліджень та їх узагальнення	20.11.2025-15.12.2025	Виконано
Технологічна частина	15.12.2025-31.12.2025	Виконано
Охорона праці в галузі	04.01.2026-12.01.2026	Виконано
Висновки	12-14.01.2026	Виконано
Список використаної літератури	14.01.2026-15.01.2026	Виконано

Студентка _____ Сенделі Д.О.

(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Аюбова Е.М.

(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню впливу воєнних дій на екологічний стан поверхневих вод України та оцінці екологічних ризиків, що формуються внаслідок збройної агресії.

Робота викладена на 73 сторінках машинописного тексту, містить 6 рисунків, 12 таблиць. У процесі виконання дослідження використано 50 літературних джерел, серед яких праці вітчизняних і зарубіжних науковців, нормативно-правові акти, матеріали офіційних моніторингових програм та аналітичні звіти міжнародних організацій.

Об'єктом дослідження є поверхневі водні екосистеми України в умовах збройного конфлікту.

Предметом дослідження є закономірності трансформації гідроекологічного стану поверхневих вод та формування екологічних ризиків під впливом воєнних дій.

Метою роботи є комплексний аналіз впливу воєнних дій на екологічний стан поверхневих вод України, ідентифікація основних джерел та типів антропогенного забруднення, оцінка екологічних ризиків для водних екосистем і населення, а також прогнозування змін гідроекологічного стану у післявоєнний період.

У процесі виконання роботи застосовано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, зокрема: аналіз і синтез, індукцію та дедукцію, системний і структурно-функціональний підхід, компаративний аналіз, методи екологічного моніторингу, оцінки екологічного ризику, індексні та матричні методики, елементи математичного та прогнозного моделювання, а також методи обробки статистичних і геоінформаційних даних.

У результаті дослідження встановлено, що воєнні дії спричиняють суттєве погіршення екологічного стану поверхневих вод, яке проявляється у порушенні гідрологічного режиму, зростанні концентрацій токсичних речовин, деградації біотичних компонентів та зниженні здатності водних екосистем до самовідновлення. Визначено, що найбільш небезпечними є хімічні та органічні

забруднення, пов'язані з руйнуванням промислових об'єктів, гідротехнічних споруд і систем водоочищення. Проведена оцінка екологічних ризиків засвідчила наявність високого та критичного рівнів небезпеки для окремих водних об'єктів, а також для здоров'я населення у регіонах активних бойових дій. Запропоновано підходи до прогнозування гідроекологічного стану поверхневих вод у післявоєнний період та окреслено напрями їх екологічної реабілітації.

Ключові слова: поверхневі води, гідроекологічний стан, воєнні дії, екологічні ризики, антропогенне забруднення, водні екосистеми, екологічна безпека, післявоєнне відновлення.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ	12
1.1. Дефініції екологічного статусу та екологічного ризику водних екосистем	12
1.2. Методологія оцінювання гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів в екстремальних умовах.....	21
РОЗДІЛ 2. ЕФЕКТИ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА ГІДРОСФЕРНІ ОБ'ЄКТИ ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ	30
2.1. Опис та аналіз гідрологічного та гідроекологічного статусу водних об'єктів у зонах бойових дій та на тимчасово окупованих територіях.	30
2.2. Класифікація та характеристика антропогенних забруднень водних екосистем, спричинених військовими діями.....	41
РОЗДІЛ 3. ДІАГНОСТИКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ПРОГНОЗНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	49
3.1. Аналіз ступеня екологічної загрозовості для водних екосистем та населення 49	
3.2. Моделювання динаміки гідроекологічного статусу поверхневих водних об'єктів у поствоєнний період	58
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

В контексті сучасних глобальних екологічних імперативів, питання збереження та сталого управління водними ресурсами набуває першочергового значення. Це зумовлено тим, що поверхневі водотоки та водойми відіграють фундаментальну роль у підтримці екологічного гомеостазу, гарантуванні життєдіяльності людського суспільства та забезпеченні стабільного функціонування господарських систем. Проте гідроекосистеми є одними з найбільш вразливих компонентів довкілля, надзвичайно чутливих до антропогенного тиску різноманітного генезису.

Їхня деградація значно посилюється в період збройних конфліктів, коли спостерігається багаторазове зростання інтенсивності техногенного та хімічного забруднення, а можливості екологічного моніторингу та природоохоронного контролю суттєво редукуються.

Сучасні військові дії характеризуються широкомасштабним застосуванням летального озброєння, тотальною деструкцією промислових і цивільних об'єктів, а також дезорганізацією функціонування інженерних комунікацій та систем життєзабезпечення. Як наслідок, в акваторії надходять вуглеводні (нафтопродукти), важкі метали, експлозивні речовини, токсичні органічні та неорганічні сполуки, а також продукти згоряння та дезінтеграції матеріалів. Ці процеси детермінують екосистемну деградацію водних об'єктів, трансформацію їхнього екологічного статусу, призводять до редукції біологічного різноманіття та формування довгострокових екологічних загроз як для природного середовища, так і для стану здоров'я людського суспільства.

Збройна агресія проти України постає як один із наймасштабніших воєнних конфліктів у Європі з часів Другої світової війни, що спричинив безпрецедентні екологічні наслідки. Значні території національної юрисдикції опинилися в зоні інтенсивних бойових дій або тимчасової окупації, що суттєво утруднило доступ до водних об'єктів та проведення систематичних гідроекологічних моніторингових робіт. Деструкція гідротехнічних споруд, водосховищ, каналів, очисних систем,

промислових підприємств і сховищ небезпечних речовин зумовила дестабілізацію природного гідрологічного режиму річкових басейнів та інших поверхневих аквальних об'єктів.

Особливої уваги вимагає проблема акумульованої екологічної шкоди, яка маніфестується не лише безпосередньо під час активних бойових дій, а й у довгостроковій перспективі. Контамінація донних відкладів, вторинна дифузія токсичних сполук, а також трансформація гідрохімічних і гідробіологічних показників створюють передумови для пролонгованої деградації водних екосистем. У постконфліктний період ці процеси потенційно перетворюються на значний лімітуючий чинник для суспільно-економічного розвитку регіонів та ревіталізації життєдіяльності соціуму.

Актуальність даного дослідження детермінована імперативом комплексного аналізу впливу збройної агресії на поверхневі водні ресурси України, із застосуванням сучасних наукових підходів до верифікації екологічного статусу та оцінювання екологічних ризиків. У науковій літературі переважно домінують дослідження, присвячені локальним екологічним викликам або окремим аспектам контамінації, тоді як системні роботи, спрямовані на узагальнення гідроекологічних імпаکتів воєнних дій, залишаються лімітованими. Це детермінує необхідність у розробці методологічного інструментарію діагностики та прогностичної оцінки стану поверхневих аквальних об'єктів в умовах військового та поствоєнного періодів.

Питання впливу збройних конфліктів на стан водних ресурсів та водних екосистем знайшли своє відображення у численних наукових працях як міжнародних, так і вітчизняних дослідників. Концептуальні основи водної безпеки та кореляція між військовими діями і деградацією водних систем були ґрунтовно розроблені в дослідженнях П. Глейка [50], котрий одним із перших всебічно обґрунтував статус води як стратегічного ресурсу в умовах конфліктів. Актуальні всебічні оцінки наслідків російсько-української збройної агресії на водні ресурси та гідротехнічну інфраструктуру викладені у працях О. Шумілової [52] та її колег, де детально досліджено зміни гідрологічного режиму, погіршення якісних

показників поверхневих вод та зростання екологічної небезпеки в регіонах активних бойових дій.

Вагомий доробок у дослідження гідроекологічного стану поверхневих вод, рівня антропогенного навантаження та екологічних ризиків належить українським вченим, зокрема В. Хільчевському [44], А. Яцику [49], І. Грищенку, А. Кізюну [13] та іншим фахівцям. У їхніх наукових публікаціях аналізуються аспекти гідрохімічних трансформацій водних об'єктів, акумуляції забруднюючих речовин, дисфункції водних екосистем та наслідки екстремальних і кризових подій. Ці напрацювання слугують методологічним підґрунтям для оцінки впливу збройного конфлікту на поверхневі водні ресурси України. Водночас, питання передбачення стану водних об'єктів у післявоєнний період залишається недостатньо вивченим, що визначає нагальність та наукову цінність цього дослідження.

Виняткової наукової та прикладної значущості набуває вивчення екологічних загроз, що генеруються внаслідок збройних конфліктів. Ці ризики охоплюють як прямі деструктивні впливи на акваторичні екосистеми, так і вторинні загрози для людської популяції, зумовлені використанням контамінованих водних джерел для питних, господарсько-побутових та рекреаційних цілей. Валідний аналіз зазначених загроз є фундаментальним компонентом системи екологічної безпеки та слугує підґрунтям для формування ефективних програм ревіталізації та протекції водних ресурсів.

Цільовим призначенням представленого дослідження є всебічний аналіз імпаکتу мілітарної агресії на еколого-гідрологічний стан поверхневих водних об'єктів України, ідентифікація асоційованих екологічних ризиків та моделювання динаміки стану водних ресурсів у післяконфліктний період.

Відповідно до визначеної мети, у даному дослідженні передбачено розв'язання наступних завдань:

- Провести ґрунтовний аналіз наукових концепцій та підходів до інтерпретації понять екологічного статусу та екологічного ризику акваторіальних екосистем;

- Розглянути методологічні засади оцінювання гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів в умовах інтенсивного антропогенного тиску;
- Здійснити комплексний аналіз гідрологічного та гідроекологічного стану водойм у зонах активних бойових дій та на тимчасово непідконтрольних територіях України;
- Систематизувати провідні категорії антропогенних забруднень водних екосистем, зумовлених наслідками військових конфліктів;
- Оцінити масштаби екологічної загрозовості для водних біоценозів та населення;
- Здійснити прогнозну оцінку динаміки гідроекологічного стану поверхневих водних систем у післявоєнний період.

Основним об'єктом даного наукового дослідження є гідроекосистеми суходолу України, що функціонують в умовах триваючої мілітарної конфронтації та зазнають комплексного впливу чинників воєнного, техногенного та посттрансформаційного генезису. Пріоритетну увагу приділено річковим, озерним та водосховищним системам, котрі характеризуються диференційованим рівнем антропогенного навантаження і ступенем дестабілізації природної гідрологічної рівноваги.

Предметом вивчення слугують закономірності формування, просторово-часові тренди модифікації гідроекологічного стану, а також динаміка еволюції екологічних ризиків поверхневих водних об'єктів. Ці ризики детерміновані впливом мілітарних факторів, включаючи фізичну деструкцію інфраструктури, контамінацію водного середовища рештками вибухових речовин, нафтопродуктами та важкими металами. Додатково аналізуються опосередковані наслідки дезорганізації систем водокористування та водовідведення.

Методологічною основою проведеного дослідження виступили як загальнонаукові, так і спеціалізовані методологічні принципи. Серед них були задіяні методичний інструментарій аналізу та синтезу, прийоми індукції та дедукції, положення системного й структурно-функціонального аналізу, а також компаративний і басейновий підходи.

У межах наукової праці були імплементовані методи екологічного та гідрохімічного моніторингу, біоіндикаційні методики для верифікації стану водних екосистем, а також інструментарій інтегрального оцінювання екологічних ризиків. Окрім того, застосовувалися елементи математичного моделювання з метою прогнозування можливих сценаріїв розвитку гідроекологічної ситуації в умовах різного рівня антропогенного та мілітарного навантаження.

Джерельною базою дослідження слугували наукові публікації вітчизняних та іноземних науковців, матеріали міжнародних організацій у сфері екологічної безпеки та водної політики, офіційна документація природоохоронних і водогосподарських інституцій, результати національних та регіональних моніторингових програм, а також публічно доступна статистична інформація щодо якості поверхневих водних об'єктів, показників захворюваності населення та особливостей водокористування. Додатково залучалися картографічні та геоінформаційні дані, які дали змогу здійснити просторову інтерпретацію ідентифікованих екологічних загроз.

Практична значущість даного дослідження полягає в потенціалі практичного застосування здобутих наукових результатів для оптимізації системи екологічного моніторингу поверхневих вод в умовах кризових та посткризових періодів, здійснення обґрунтованої оцінки екологічних збитків, зумовлених мілітарними діями, та детермінації пріоритетних локацій для імплементції ревіталізаційних і відновлювальних заходів. Напрацювання цього дослідження можуть бути задіяні органами державного адміністрування, водогосподарськими та природоохоронними відомствами під час формування стратегічних напрямів екологічної безпеки, планування поствоєнного відновлення водних ресурсів, а також в освітньому процесі при підготовці висококваліфікованих фахівців у галузі екології та водного господарства.

Структура роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаної літератури та додатку. Робота викладена на 73 сторінках машинописного тексту, містить 6 рисунка, 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

1.1. Дефініції екологічного статусу та екологічного ризику водних екосистем

Ключовою концепцією в сучасній гідроекологічній парадигмі та галузі управління водними ресурсами є ідея екологічного статусу аквальних систем. Вона виступає як інтегративна наукова категорія, призначена для комплексної діагностики стану як поверхневих, так і підземних гідрологічних формацій. Згідно з усталеними академічними методологіями, екологічний статус трактується як всебічна оцінка кондиції акваторії, яка детермінується синергетичною взаємодією фізико-хімічних, біологічних та гідроморфологічних характеристик, що спільно відображають рівень структурно-функціональної цілісності водної екосистеми [28]. Ця методологічна перспектива дозволяє розглядати водні об'єкти не просто як компоненти гідрологічної мережі ландшафту, а як складні, автономно функціонуючі біогеоценози, які володіють потенціалом адаптації, резистентності та регенерації в умовах екзогенного тиску.

Відповідно до досліджень В. Д. Романенка, екологічний статус дефінується як міра відповідності природних атрибутів або іманентних властивостей водної екосистеми її референтному (витоковому) стану. Останній забезпечує стабільне функціонування гідробіонтних угруповань, збереження біоценотичної конфігурації та підтримання авторегулятивного потенціалу системи [37]. У цьому контексті екологічний статус набуває не лише дескриптивного, а й прогностичного сенсу, оскільки уможлиблює оцінку лімітів екологічної стійкості системи, її адаптивних ресурсів та ступеня екологічної чутливості щодо антропогенних і техногенних інтервенцій.

Екологічний статус водних екосистем позиціонується як інтегративний критерій кон'юнктури гідросфери, що віддзеркалює ступінь її відповідності

референтним природним показникам, засадам сталого розвитку та імперативам екологічної стабільності. Діагностика цього стану виступає як основоположний інструментарій у системі екологічного спостереження, оскільки вона надає науково валідовану основу для формування стратегічних управлінських інтервенцій у сферах консервації, ревіталізації та раціональної експлуатації аквальної ресурсів. В умовах ескалації антропогенного навантаження та постмілітарних трансформацій природних ландшафтів, саме парадигма екологічного статусу еволюціонує у ключову методологічну платформу для розробки стратегій екологічної безпеки, проектування відновлювальних ініціатив та моделювання перспективних систем менеджменту водних екосистем у національному та регіональному вимірах.

Паралельно з цим, аналіз екологічного статусу уможливорює ідентифікацію критичних сегментів, котрі потребують пріоритетного реагування, а також прогнозування довготривалих динамічних трендів у гідроекосистемах під впливом антропогенних та природних чинників. Це створює перспективу для консолідації даних, отриманих шляхом хемо-, фізико- та біомоніторингу, в уніфіковану інформаційну платформу, яка забезпечує науково обґрунтоване планування заходів із реставрації та інтенсифікації екологічної резистентності водних об'єктів. Актуальна наукова парадигма екологічного статусу імплементує багатоаспектний підхід, що охоплює аналіз таких параметрів [25]:

- Фізико-хімічні показники: рівень розчиненого кисню, значення рН, солоність, хімічне споживання кисню (ХСК), концентрації важких металів та інших токсичних сполук (ксенобіотиків);
- Біологічні індикатори: біотична маса та таксономічне різноманіття гідробіонтів, показники сапробності, а також присутність індикаторних видів, що демонструють високу чутливість до антропогенного забруднення;
- Гідроморфологічні характеристики: морфологічний стан русла, гідродинамічний режим потоку, структура прибережної зони та модифікації, спричинені гідротехнічними спорудами.

Згідно з положеннями Директиви ЄС 2000/60/ЄС, екологічний стан водних об'єктів диференціюється на п'ять категорій: високий, добрий, задовільний, поганий та дуже поганий. Кожна з цих категорій верифікується за інтегрованими критеріями фізико-хімічної кондиції та біотичної варіативності, що уможливорює цілісну верифікацію стану гідроекосистеми [38].

Таблиця 1.1

Комбіновані показники фізико-хімічного стану та біологічного різноманіття

Клас стану	Характеристика	Приклади
Високий	Мінімальні відхилення від природного стану	Природні річки у заповідних територіях
Добрий	Незначні антропогенні зміни	Річки поблизу невеликих населених пунктів
Задовільний	Помірні зміни	Водні об'єкти з помірним антропогенним навантаженням
Поганий	Значні зміни	Річки поблизу промислових зон, перевищення нормативів ХСК та вмісту важких металів
Дуже поганий	Сильно деградовані	Води зон активних бойових дій, високий рівень токсичних речовин

Джерело: Станіславенко, О. Ю. Природоохоронні заходи під час військових дій / О. Ю. Станіславенко// Український журнал екології. – 2023. -№1. -С. 102-109.

Еколого-ризиковий потенціал водних екосистем інтерпретується як вірогідність несприятливих трансформацій гідроекологічного стану, що здатні спричинити деградацію екосистемної цілісності або створити загрозу для здоров'я та безпеки людських спільнот. Його формування детермінується сукупністю трьох фундаментальних факторів [50]:

- Антропогенний тиск: Включає індустриальні та аграрні ефлюенти, контамінацію нафтовими вуглеводнями та сполуками важких металів;

– Надзвичайні ситуації: Охоплюють збройні конфлікти, стихійні лиха природного походження та техногенні інциденти на об'єктах водогосподарської інфраструктури;

– Екосистемна резистентність: Характеризується внутрішньою спроможністю системи до самовідновлення (авторемедіації) та адаптації до флуктуацій довкілля.

Систематизація екологічного ризику здійснюється на основі двох ключових параметрів: вірогідності реалізації негативного впливу (P) та амплітуди потенційних наслідків (C).

Таблиця 1.2

Ймовірність впливу (P) та масштабів наслідків (C) [51]

Рівень	P (%)	C (бал)	Коментар
Низький	<20	≤10	Мінімальні зміни
Середній	20–50	10–30	Помірний вплив
Високий	50–80	30–60	Суттєві наслідки для флори і фауни
Критичний	>80	>60	Значні та довготривалі деградаційні процеси

Джерело: Хільчевський В. К. *Основи гідроекології : навчальний посібник*. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2018. 264 с.

В районах бойових дій екологічна небезпека часто досягає загрозливого рівня через комбінований вплив хімічних, органічних і механічних забруднень.

Важливими є також фізико-хімічні показники якості води. До основних відносять:

– Показник водневого показника (рН) – визначає розчинність хімічних сполук та інтенсивність біохімічних процесів у водному середовищі;

– Концентрація розчиненого кисню (O_2 , мг/дм³) – є критичним показником для життєдіяльності водних організмів; його дефіцит спричиняє масову загибель іхтіофауни та редукцію біологічного різноманіття;

– Хімічне споживання кисню (ХСК, мг/дм³) – є індикатором органічного забруднення; підвищені значення корелюють з інтенсивним розкладанням органічних речовин та деградацією водних екосистем;

– Присутність важких металів (Pb, Cd, Hg, Cu) – це високотоксичні контамінанти, які акумулюються у біологічних тканинах гідробіонтів та становлять довгострокову екологічну небезпеку [16].

Таблиця 1.3

Основні індикатори екологічного стану

Категорія	Показник	Одиниці	Норма	Пояснення
Фізико-хімічні	pH	од.	6.5–8.5	Впливає на життєдіяльність водних організмів
Фізико-хімічні	O ₂	мг/дм ³	≥8	Забезпечує дихання водних організмів
Фізико-хімічні	ХСК	мг/дм ³	≤5	Показник органічного забруднення
Хімічні	Pb	мкг/дм ³	≤10	Токсичний для флори та фауни
Біологічні	Індекс сапробності	од.	1–2.5	Відображає органічне забруднення
Гідроморфологічні	Структура русла	бал 1–5	5	Природний стан русла

Джерело: "Індикатори стану екологічної безпеки держави". Аналітична записка [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/indikatori-stanu-ekologichnoi-bezpeki-derzhavi-analitichna-zapiska>

Дана таблиця ілюструє сукупність ключових метрик, що застосовуються з метою всебічного аналізу гідроекологічного стану та прогнозування потенційних екологічних ризиків.

До біологічних показників відносять:

- Індекс сапробності слугує для кількісної оцінки ступеня органічного забруднення водойм, інтегруючи інформацію про таксономічне розмаїття гідробіонтів;
- Таксономічний склад водних макрофітів та зоопланктонних угруповань вирізняється високою чутливістю до варіацій фізико-хімічних характеристик водного середовища, а також до наявності токсичних речовин;
- Індикаторні види репрезентують собою біоіндикатори, які проявляють специфічну реакцію або підвищену сприйнятливість до конкретних типів забруднення, таких як вуглеводні нафтового походження або іони важких металів.

Гідроморфологічні параметри оцінки:

- Морфологія та стабільність русла: Оцінка здійснюється за п'ятибальною градаційною шкалою (від 1 до 5), де одиниця відображає високий ступінь антропогенної трансформації (значну модифікацію), а п'ятірка – близькість до природного (первісного) стану;
- Стан прибережної зони (річкової долини): Оцінка наявності та інтенсивності ерозійних процесів, а також ступеня деградації (деградаційних змін) рослинного покриву;
- Антропогенний вплив від інженерних споруд: Фіксація фактів пошкоджень, руйнувань або порушень функціональності гідротехнічних споруд, таких як шлюзи, дамби та водозабори [41].



Рис. 1.1 Взаємозв'язок бойових дій та стану водних об'єктів [41]

Для обґрунтування теоретичних гіпотез доречно залучити емпіричні дані національних та міжнародних програм екологічного спостереження, що документують зміни гідроекологічного стану водних екосистем України в умовах посиленого антропогенного тиску та військових впливів. Особливої уваги заслуговують ключові річкові системи, такі як Дніпро, Сіверський Донець, Інгулець та Південний Буг, які зазнали суттєвих трансформацій у своїх фізико-хімічних та біологічних параметрах протягом часового проміжку 2014–2023 років [26].

Таблиця 1.4.

Оцінка змін фізико-хімічного складу річкових екосистем України внаслідок військової агресії [26]

Водний об'єкт	Показник	Норма	2013 (до конфлікту)	2022–2023	Відхилення
Дніпро	O ₂ , мг/дм ³	≥8	8.6	4.1	–52%
Дніпро	ХСК, мг/дм ³	≤5	3.4	11.9	+250%
Сіверський Донець	Pb, мкг/дм ³	≤10	6	24	+300%
Інгулець	pH	6.5–8.5	7.4	6.0	зниження
Південний Буг	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	≤40	18	46	+155%

Джерело: Костюченко О. А. Антропогенний вплив на водні ресурси у зоні конфлікту/ О. А. Костюченко, І. В. Литовченко // Проблеми екології. – 2022. – Т.18, №3. – С. 47-52.

Презентовані в таблиці відомості свідчать про істотну деградацію гідрохімічних параметрів поверхневих водних об'єктів, що виявляється, насамперед, у критичному зниженні концентрації розчиненого кисню та значному підвищенні рівня токсичних сполук і надлишковому накопиченні біогенних елементів. Ця закономірність є характерною ознакою для територій, охоплених збройними конфліктами, та суміжних з ними регіонів.

Біологічні індикатори водних екосистем вирізняються значною чутливістю до будь-яких змін якісного стану водного середовища. На підставі результатів моніторингових досліджень, виконаних Інститутом гідробіології Національної

академії наук України, на певних ділянках річкових басейнів східного та південного регіонів України було виявлено низку екологічних деградаційних процесів, що включають:

- істотне зменшення чисельності (в діапазоні 40–70%) екологічно чутливих таксонів зоопланктону;
- збільшення пропорції евтрофних та сапробних організмів-індикаторів;
- зниження показника видового різноманіття (індекс Шеннона) [40].

Таблиця 1.5

Зміни біологічних індикаторів якості води

Водний об'єкт	Індекс сапробності	Клас якості	Біорізноманіття
Дніпро (верхня течія)	1.6	Добрий	Високе
Дніпро (середня течія)	2.3	Задовільний	Середнє
Сіверський Донець	3.1	Поганий	Низьке
Інгулець	3.4	Дуже поганий	Дуже низьке

Джерело: Строкаль В. П., Бережнюк Є. М., Наумовська О. І., Вагалюк Л. В., Ладика М. М., Сербенюк Г. А., Паламарчук С. П., Павлюк С. Д., Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія. – Київ, - 2023. – 222 с.

Отримані наукові дані вказують на порушення структурно-функціональних характеристик біологічної складової гідроекосистем у зонах підвищеного антропогенного впливу та військової агресії.

Домінантним детермінантом екологічних ризиків для континентальних водних об'єктів є хімічне забруднення, на частку якого припадає 38% від загальної структури загроз. Ця категорія охоплює інфільтрацію в акваторії індустріальних ефлюентів, пестицидів, сполук важких металів та інших ксенобіотиків, що деструктивно впливають на гідрохімічний стан та функціонування водних екосистем. Персистуючий рівень хімічної контамінації спричиняє акумуляцію токсикантів у донних седиментах та біоті, дестабілізує природні біогеохімічні цикли та потенційно збільшує загрозу для громадського здоров'я популяцій, які використовують ці джерела водопостачання.

Наступні за значущістю фактори впливу включають органічне забруднення (27%), механічне (18%) та гідроморфологічні порушення (17%). Органічна контамінація провокує надмірне надходження нутрієнтів, що ініціює евтрофікацію та виснажує концентрацію розчиненого кисню у водному середовищі. Механічне забруднення детерміноване інтродукцією дисперсних твердих фракцій, антропогенних відходів та річкового алювію, що модифікує оптичні властивості та автентичну морфологію водойм. Гідроморфологічні ризики асоціюються з альтераціями річкових русел, прибережних зон та природного гідрологічного режиму, що ініціює екосистемну деградацію та редукцію біотичного різноманіття. Сукупно, зазначені чинники конституюють багатокomпонентну екологічну небезпеку для поверхневих вод, що зумовлює необхідність безперервного системного моніторингу та ефективного управління ризиками.



Рис. 1.2 Структура екологічних ризиків для поверхневих вод (%)

(власна розробка)

Згідно з даними кругової діаграми, хімічне та органічне забруднення визначено як першочергові рушійні фактори, що зумовлюють погіршення функціонального стану водних біоценозів [53].

Отже, екологічний стан водних екосистем становить собою інтегральну характеристику, детерміновану сукупністю фізико-хімічних, біологічних та гідроморфологічних чинників. Збройна агресія суттєво інтенсифікує антропогенний тиск, що зумовлює підвищення екологічних ризиків, деградацію біотичного різноманіття та зниження якості водного середовища.

Імплементація табличних, графічних та діаграмних репрезентацій, а також інтегральних індикаторів, гарантує науково фундовану оцінку кондиції поверхневих водних об'єктів та закладає методологічний базис для подальших досліджень.

1.2. Методологія оцінювання гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів в екстремальних умовах

Поточний екологічний статус поверхневих водних об'єктів України детермінований сукупністю багаторічного антропогенного пресингу та низки екстремальних чинників, серед яких збройний конфлікт посідає пріоритетну позицію. За таких обставин, традиційні підходи до оцінювання якості водних ресурсів виявляються неспроможними, що зумовлює імперативність впровадження адаптованих методологій. Ці підходи сфокусовані на комплексному аналізі екологічного ризику та прогнозуванні трансформацій гідроекологічного стану.

Методологічний апарат оцінювання гідроекологічного стану поверхневих водних екосистем в умовах надзвичайної нестабільності базується на екосистемному принципі. Він передбачає інтерпретацію водного об'єкта як складної природно-антропогенної системи з ієрархічними взаємозв'язками між її структурними компонентами. Ключовою метою даної методології є формування інтегральної оцінки стану водних екосистем з урахуванням динамічної мінливості гідрологічних та гідрохімічних показників, а також зростання техногенних загроз [46].

Актуальний контекст функціонування гідрогосподарського комплексу України відзначається суттєвою деградацією гідроекологічної ситуації. Ця деградація детермінована кумулятивною дією довготривалого антропогенного пресингу та впливом екстремальних дестабілізуючих чинників, серед яких ключовим каталізатором є воєнний конфлікт. За таких обставин класичні методології діагностики кондиції поверхневих водних об'єктів вимагають модифікації та інтеграції ризик-менеджмент концепціями, спроможними

асимілювати динамічну мінливість екологічних показників та дефіцит моніторингових відомостей.

Методична база оцінювання гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів в екстремальних умовах фундаментується на засадах комплексного екосистемного принципу, синтезу багаторівневих індикаторів та імплементації індексного і прогностичного інструментарію аналізу. Її ключовим завданням є не лише документування актуальної кондиції гідробіологічних комплексів, а й ідентифікація ступеня екологічної небезпеки та прогнозованих імплікацій для компонентів довкілля і людського соціуму [17].

При проведенні оцінювання гідроекологічного статусу поверхневих водних об'єктів в умовах підвищеної невизначеності або кризових ситуацій, доцільно керуватися наступними фундаментальними засадами:

- Комплексність: даний принцип передбачає синхронний та інтегрований аналіз фізико-хімічних, біологічних, а також гідроморфологічних індикаторів для отримання всебічної картини;
- Адаптивність: ця засада дозволяє гнучко модифікувати програму гідроекологічного моніторингу відповідно до динаміки поточної безпекової кон'юнктури чи змінення оперативної обстановки;
- Ієрархічність: сутність цього підходу полягає у послідовному переході від оцінки парціальних (локальних) показників до формування узагальненої інтегральної оцінки гідроекологічного статусу;
- Ризик-орієнтований підхід: його реалізація спрямована на ефективну ідентифікацію зон потенційної екологічної загрози та достовірне прогнозування ймовірних негативних наслідків.

Методологічний підхід до діагностики та оцінки гідроекологічного статусу поверхневих водних екосистем в умовах критичного функціонування або надзвичайних впливів інтегрує низку логічно структурованих, послідовних фаз [20].

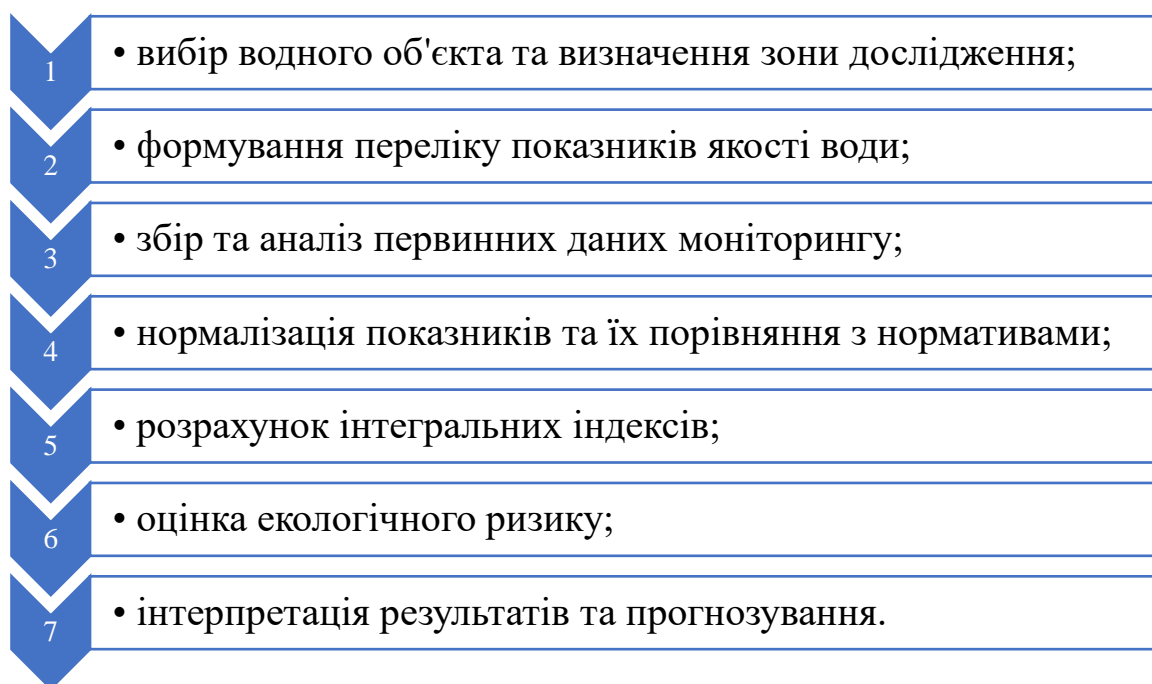


Рис.1.3. Системний підхід до інтегральної діагностики еколого-гідрологічних характеристик поверхневих водних масивів

Джерело: Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. Київ : Обереги, 2001. 728 с.

Представлена методологічна архітектура відображає систематизовану послідовність фаз оцінювання, яка охоплює як акумуляцію та препроцесинг емпіричних даних, так і їх герменевтичну інтерпретацію. Подібна концептуальна побудова забезпечує холистичне розуміння екологічного стану поверхневих водних об'єктів, включаючи їх гідрологічні, фізико-хімічні, біологічні та морфометричні параметри. Інтеграція гетерогенних джерел інформації сприяє ідентифікації ключових деградаційних чинників екосистеми та уможлиблює встановлення каузальних кореляцій між антропогенним пресингом і змінами у функціональній цілісності водних ресурсів.

Застосування запропонованої методології уможлиблює проведення комплексної діагностики гідрографічних об'єктів в умовах перманентної динамічної мінливості природного середовища та інтенсифікованого антропогенного впливу, зокрема, детермінованого наслідками військових конфліктів. Використання системного та інтегрованого підходу гарантує не лише верифікацію актуального статусу водних екосистем, а й предикцію їхньої екосистемної резистентності та індексу вразливості. Це, у свою чергу, формує

емпірично обґрунтовану наукову платформу для елаборації стратегій раціонального водокористування, планування природозберігаючих ініціатив та редукції потенційних загроз для здоров'я соціуму й екологічної безпеки довкілля. Конструювання адекватної індикаторної системи виступає засадничим компонентом методологічного апарату, оскільки саме ці критерії репрезентують сприйнятливість акваторичних екосистем до екстремальних або стресових впливів. У руслі підходів В. Д. Романенка та А. В. Яцика, доцільною є імплементація ієрархічної системи показників, класифікованих згідно з їхньою функціональною приналежністю [37].

В умовах утрудненого або обмеженого доступу до досліджуваних регіонів істотно зростає актуальність та значущість методологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які охоплюють аналіз супутникових зображень та застосування геоінформаційних систем (ГІС). Комплексна синергічна інтеграція зазначених геопросторових даних із різноманітними індексними показниками дає змогу ефективно нівелювати дефіцит натурних вимірювань та забезпечити перманентний характер екологічного моніторингу. Одночасно це уможливорює оперативне виявлення аномалій (відхилень) та предиктивне моделювання потенційних загроз для водних екосистем [19].

Фундаментальним аспектом окресленого методологічного підходу є розроблення репрезентативного комплексу показників, що характеризуються високою чутливістю до граничних або загрозливих впливів на досліджувану систему. Зазначений комплекс діагностичних метрик уможливорює не тільки оперативне виявлення потенційних загроз та аномальних відхилень від штатного режиму функціонування, але й забезпечує кількісне визначення інтенсивності цих впливів. Принциповим є те, що показники добираються з огляду на їхню достовірність, відтворюваність вимірювань та спроможність відобразити багатофакторні взаємозв'язки між різноманітними елементами системи. У сукупності, ці аспекти формують підґрунтя для моделювання та предиктивного аналізу динаміки системи в умовах зростаючої турбулентності, водночас

уможлиблюючи розроблення адаптивних інструментів менеджменту, спрямованих на редукцію деструктивних наслідків критичних впливів.

Таблиця 1.6

Основні групи показників гідроекологічного стану [7]

Група показників	Характеристика	Приклади
Фізичні	Відображають загальні властивості води	Температура, прозорість
Фізико-хімічні	Характеризують якість води	pH, розчинений кисень, ХСК
Хімічні	Визначають рівень забруднення	Важкі метали, нафтопродукти
Біологічні	Оцінюють стан біоти	Індекс сапробності
Гідроморфологічні	Відображають зміни русла	Замулення, руйнування берегів

Джерело: Волков О. В. Забруднення ґрунтів та водних ресурсів під час збройних конфліктів / О. В. Волков, М. С. Зоря // Вісник екології. – 2022. – №4. – С. 37-42.

Пропонована таблиця слугує інструментом для структуризації ключових індикаторів, необхідних для цілісної верифікації екологічного статусу поверхневих водних ресурсів, та сприяє оптимізації моніторингових стратегій за умов обмежених логістичних можливостей. У контексті воєнних дій особливої актуальності набувають хімічні індикатори, що свідчать про концентрацію токсичних металів, нафтовмісних сполук та продуктів детонації вибухових речовин. Ці контамінанти, згідно з інформацією Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП), є типовими забруднювачами для територій, охоплених збройними конфліктами [35], [48].

З метою забезпечення зіставності гетерогенних метрик імплементується процедура нормалізації, котра передбачає масштабування значень до уніфікованої безрозмірної шкали. Після цього етапу здійснюється детермінація комплексного індикатора гідроекологічного статусу.

Формалізацію інтегрального оцінювання доцільно репрезентувати за допомогою формули (2.1):

$$I_{GES} = \sum_{i=1}^n w_i * P_i \quad (2.1)$$

де

I_{GES} – інтегральний індекс гідроекологічного стану;

w_i - вагомий коефіцієнт показника;

P_i – нормалізоване значення параметра.

Оцінка екологічного ризику ґрунтується на синтезі вірогідності настання потенційно несприятливого явища та амплітуди його екологічних наслідків.

Таблиця 1.7

Матриця екологічного ризику для поверхневих вод

Ймовірність / Наслідки	Незначні	Помірні	Значні	Катастрофічні
Низька	Низький	Низький	Середній	Середній
Середня	Низький	Середній	Високий	Високий
Висока	Середній	Високий	Критичний	Критичний

Джерело: Волков О. В. Забруднення ґрунтів та водних ресурсів під час збройних конфліктів / О. В. Волков, М. С. Зоря // Вісник екології. – 2022. – №4. – С. 37-42.

Матриця забезпечує можливість оперативно визначати рівень екологічного ризику та виділяти пріоритетні області для впровадження природоохоронних заходів.

В контексті активних військових дій, оцінка гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів вимагає значної трансформації стандартних підходів до їх моніторингу та аналізу екологічних індикаторів. Основними перешкодами є дискретність емпіричної інформації, утруднений доступ до певних акваторій, а також значна ступінь непевності, обумовлена дестабілізацією природного середовища та деструктивним антропогенним впливом військових дій. Відтак, методологія оцінки має ґрунтуватися на інтеграції декількох взаємодоповнюючих компонентів [7].

Дискретність емпіричної інформації, отриманої в ході моніторингу

Конвенційні натурні обстеження у регіонах військових зіткнень зазвичай унеможливлені через загрози безпеці та деградацію інфраструктурних об'єктів. Це обумовлює фрагментарність або нерівномірний розподіл інформації. Задля подолання вказаних труднощів застосовуються:

- гнучкі схеми вибіркового аналізу, що уможливають діагностику стану водних об'єктів ґрунтуючись на лімітованій кількості референсних точок;
- статистичні техніки інтерполяції та екстраполяції, які сприяють заповненню інформаційних прогалів;
- ретроспективні відомості доконфліктного періоду моніторингу як референтна основа для компаративного аналізу подальших змін.

Можливості дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)

Застосування супутникових знімків та аерофотографій набуває особливої значущості в обставинах, за яких безпосередній доступ до водних об'єктів є лімітованим. Дистанційне зондування Землі дає можливість:

- ідентифікувати зони підтоплення, відстежувати динаміку трансформацій берегової смуги та інтенсивність ерозійних явищ;
- верифікувати оптичні характеристики водного середовища (зокрема, кольоровість та каламутність), що може слугувати індикатором його забруднення;
- інтегрувати отримані геопросторові дані до геоінформаційних систем (ГІС) задля подальшої інтерпретації динаміки гідроекологічного статусу.

Необхідність впровадження предикативного та сценарного моделювання

В контексті динамічної мінливості довкілля, предикативні моделі виступають ключовим інструментарієм, що уможливорює оцінку потенційної еволюції екологічних динамік. Зокрема, до них належать:

- Гідрологічні та гідродинамічні моделі для прогнозування коливань водного рівня та динаміки водних потоків.
- Сценарне моделювання, що інтегрує спектр потенційних антропогенних навантажень (як-от деградація інфраструктурних об'єктів або несанкціоновані хімічні емісії).

– Інтегровані моделі оцінки ризиків, що дозволяють визначити ймовірність перевищення гранично допустимих концентрацій контамінантів та потенційні згубні наслідки для екосистемних компонентів та людської популяції.

Підвищена амбівалентність прогнозованих наслідків

Значний ступінь невизначеності детермінований не тільки дефіцитом емпіричних даних, але й інтрикатною взаємодією фізико-хімічних і біологічних динамік в акваторіях у періоди конфліктів. Для редукції цієї невизначеності застосовуються:

– Композитні індекси, що слугують інтегральними індикаторами гідроекологічної кондиції.

– Багатокритеріальні аналітичні підходи для пріоритизації чинників забруднення.

– Системи ризик-менеджменту, які забезпечують прийняття емпірично обґрунтованих рішень навіть в умовах фрагментарної інформаційної бази.

Холістична методологія передбачає синергію польових моніторингових даних, аерокосмічної інформації та математичного моделювання в єдину концептуальну рамку. Цей підхід забезпечує можливість:

– Формування цілісної картини екологічного стану водних екосистем.

– Здійснення своєчасного виявлення потенційних екологічних загроз.

– Гарантування адаптивності методологічного апарату до особливостей кожного конфліктного регіону.

– Забезпечення наукової достовірності інтерпретації емпіричних даних навіть за умов дефіцитної інформаційної основи.

Оцінювання гідробіологічного статусу водних об'єктів у контексті збройного протистояння зумовлює необхідність імплементації інтегрованого та гнучкого підходу, що синтезує натурні дослідження, аерокосмічний моніторинг та імітаційне моделювання. Розрізненість емпіричних відомостей, утруднений доступ до водних об'єктів, а також підвищена імовірнісна дисперсія висновків вимагають застосування синтезованих аналітичних методик та агрегованих індикаторів для

неупередженої детермінації екосистемного статусу. Імплементация предиктивних та симуляційних моделей дає змогу прогнозувати динаміку гідробіологічних трансформацій та верифікувати загрозливі чинники, що генеруються в зонах збройної агресії. У підсумку, презентована методологічна парадигма гарантує науково верифіковану, адаптивну та достовірну детермінацію цілісності водних біоценозів попри лімітований інформаційний доступ та посилену екологічну волатильність.

РОЗДІЛ 2

ЕФЕКТИ ВПЛИВУ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА ГІДРОСФЕРНІ ОБ'ЄКТИ ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

2.1. Опис та аналіз гідрологічного та гідроекологічного статусу водних об'єктів у зонах бойових дій та на тимчасово окупованих територіях.

Збройне протистояння у східних та південних регіонах України зумовлює багатоаспектний та глибокий вплив на водні ресурси. Його наслідки поширюються як на поверхневі, так і на підземні водні системи. Серед ключових несприятливих наслідків можна виділити такі [31]:

- модифікація гідрологічних режимів річкових систем;
- контамінація хімічними та органічними сполуками;
- деградація та руйнування інфраструктури водопостачання та водовідведення;
- зниження біотичного різноманіття водних екосистем.

У контексті воєнних дій, традиційні методи контролю та моніторингу водних ресурсів суттєво обмежені, що значно ускладнює своєчасне та достовірне оцінювання екологічного стану гідрологічних об'єктів.

Деструктивні зміни у гідроекосистемах мають багатофакторний характер, проявляючись як у фізико-хімічних, так і у біотичних наслідках. Зокрема, відбувається пригнічення природних механізмів автоочищення водних об'єктів, що спричиняє суттєве погіршення якості водних ресурсів. Це, в свою чергу, обмежує їхню придатність для господарсько-питного, індустріального та іригаційного використання.

Варто також наголосити, що спричинені військовими діями трансформації гідроекосистем характеризуються значною латентністю та пролонгованою дією. Це зумовлено тим, що більшість екологічних наслідків не демонструє миттєвої маніфестації, а реалізується у відстроченій часовій перспективі. Кумуляція токсичних речовин у донних седиментах, ґрунтових горизонтах та біоті формує

феномен відстроченої екологічної шкоди, що зберігає свій деструктивний потенціал навіть по завершенні інтенсивної фази військових конфліктів [4].

Надзвичайно загрозливим аспектом є формування вторинних контурів контамінації, які виникають унаслідок повторної мобілізації акумульованих поллютантів під час паводкових явищ, модифікації гідрологічного режиму або антропогенного порушення цілісності донних відкладень. Ці процеси провокують реінтоксикацію аквального середовища та зумовлюють перманентну нестабільність гідрохімічних параметрів водних об'єктів.

Паралельно, деградація інженерно-гідротехнічної інфраструктури суттєво редукує адаптаційний потенціал водогосподарських систем до екстремальних навантажень. Деструкція об'єктів водоочищення, насосних комплексів, каналізаційних колекторів і гребель порушує інтегральність гідрологічного циклу, актуалізує ризики неконтрольованих емісій забруднювальних речовин та унеможливує дієве управління якістю водних ресурсів як на локальному, так і на регіональному рівнях [43].

Більше того, дисфункція природних водно-болотних комплексів та прибережно-захисних смуг, які відіграють роль біофільтраційних систем природного походження, ініціює деградацію екосистемних послуг, що охоплюють детоксикацію, регуляцію гідрологічного режиму та підтримання біологічного гомеостазу. За таких умов водні екосистеми втрачають потенціал до самовідновлення, а їхня екологічна резильєнтність істотно знижується.

Сукупність окреслених процесів детермінує системну екологічну вразливість гідроекосистем, за якої локальні деградації трансформуються у регіональні екологічні ризики. Це обумовлює імперативну необхідність переходу від фрагментарного, реактивного реагування до інтегрованих стратегій управління водними ресурсами, орієнтованих на довгострокову стабілізацію гідроекологічного стану, екосистемну реабілітацію та реставрацію природних регуляторних механізмів функціонування водних екосистем [12].

Гідрографічні домінанти в умовах воєнного конфлікту. У регіонах, охоплених військовими діями, та на тимчасово окупованих територіях розташовані

стратегічно важливі річки та штучні водойми, що відіграють ключову роль у забезпеченні питного водопостачання та іригаційних потреб значної частини населення. До цих фундаментальних водних артерій належать:

– Сіверський Донець — наймасштабніша річка Східної України, яка є основним джерелом водних ресурсів для Луганської та Донецької областей. Її середньостатистичний річний стік становить приблизно $190 \text{ м}^3/\text{с}$, а загальна протяжність русла сягає 1090 км. В період інтенсифікації бойових операцій було зафіксовано суттєве падіння гідрологічного рівня, руйнування гідротехнічних споруд (дамб) та модифікації річкових русел, спричинені диверсійними діями.

– Дніпро (нижня течія) — ключова водна артерія України, довжина якої становить 2201 км, а площа водозбірного басейну перевищує 500 тис. км². У її нижній частині, зокрема нижче за течією від Каховського водосховища, спостерігалися дестабілізація природного гідрологічного режиму стоку, локальні підтоплення прибережної зони та зростання концентрації забруднюючих речовин у водній масі, що є наслідком деградації промислових інфраструктурних об'єктів.

– Інгулець — водотік помірних параметрів з протяжністю 557 км і середнім стоком близько $48 \text{ м}^3/\text{с}$. Збройний конфлікт зумовив суттєве хімічне ураження річки через пошкодження індустріальних об'єктів та подальше витікання стічних вод, що містять небезпечні концентрації важких металів та інших токсичних сполук.

– Донбаські водосховища — антропогенні водні резервуари, створені з метою регулювання гідрологічного режиму річок та забезпечення водою індустріальних комплексів. Воєнні дії спричинили їхнє інтенсивне замулення, значні флуктуації рівня води та фрагментарне ушкодження інженерних гідротехнічних споруд [10].

Деструктивний вплив військових дій на гідрологічний режим річкових систем проявився у скороченні середньорічного стоку, дестабілізації сезонних циклів водного рівня та модифікації гідродинамічних характеристик потоків. Ці

зміни, своєю чергою, чинять значний негативний тиск на екосистеми водних об'єктів та надійність водопостачання локальних громад [39].

Таблиця 2.1

Основні гідрологічні характеристики водних об'єктів у зоні конфлікту

Водний об'єкт	Довжина (км)	Площа басейну (км ²)	Середній витік (м ³ /с)	Режим течії	Основні наслідки конфлікту
Сіверський Донець	1090	97 800	190	рівнинний	руйнування дамб, замулення, забруднення
Дніпро (нижня течія)	2201	504 000	1600	рівнинний	порушення стоку, затоплення прибережних територій
Інгулець	557	13 000	48	рівнинний	хімічне забруднення через руйнування промислових об'єктів
Донбасські водосховища	—	—	—	штучні	замулення, коливання рівня води

Джерело: Гаврилюк О. І. Екологічна безпека у зонах бойових дій / О. І. Гаврилюк, Т. В. Риженко // Екологічна безпека та охорона здоров'я. – 2023. – №1. – С. 19-27.

Даний аналітичний табличний матеріал ілюструє ключові показники значних гідрографічних об'єктів східних та південних регіонів України, інтегруючи їхні морфометричні та гідродинамічні характеристики (зокрема, протяжність, площу водозбору, середньорічний стік та динаміку течії) з екосистемними наслідками збройного конфлікту.

Представлені річкові системи – Сіверський Донець, Дніпро та Інгулець – типові для низинних ландшафтів, що обумовлює їхню підвищену вразливість до

антропогенного та техногенного навантаження. Ця чутливість посилюється уповільненими процесами природної авторемедіації та інтенсивною акумуляцією поллютантів у донних відкладах.

Особлива увага приділяється штучним водосховищам Донбасу, які є найменш стабільними компонентами гідросистеми. Порушення природного гідрологічного циклу в поєднанні з руйнуваннями інфраструктурних об'єктів внаслідок бойових дій спричиняє інтенсивне замулення, значні флуктуації рівня води та комплексну деградацію акваторичних екосистем.

Таким чином, представлений аналіз виявляє системний характер трансформації водних екосистем у зоні військового протистояння, де гідрологічні параметри нерозривно інтегровані з техногенними загрозами, формуючи багатовекторну кризу водної безпеки регіону.

Унаслідок зазначених гідроморфологічних перетворень зростає ймовірність настання екстремальних паводкових подій, інтенсифікації флювіальної ерозії берегових ліній та деградації природної асиміляційної спроможності річкових екосистем. Це, у свою чергу, суттєво посилює екологічну вразливість регіональних гідросистем.

У численних річкових системах фіксується суттєве скорочення водного стоку, що сягає 10–20 % порівняно з довоєнним референсним періодом. Ця деградація гідрологічного режиму обумовлена комплексом взаємопов'язаних факторів, серед яких деструкція гідротехнічних споруд, модифікація морфології русел річок, а також локалізоване підвищення рівня води у зонах підтоплення [32].

Зазначені зміни дестабілізують природні авторегенераційні механізми, впливають на динаміку седиментаційних процесів осадових відкладень та обмежують міграційні шляхи гідробіонтів. Модифікація флювіальних режимів провокує інтенсифікацію ерозійних процесів берегових ліній, що веде до кольматації русел річок та водосховищ, зменшуючи їхній ємнісний потенціал та погіршуючи умови існування для іхтіофауни та водної флори. Порушення річних гідрологічних циклів потенційно призводить до інгуляції низинних територій та деструкції аграрних угідь і житлових об'єктів [29].

Якість водних ресурсів у районах збройних конфліктів та на тимчасово окупованих територіях часто не відповідає встановленим санітарно-гігієнічним нормативам. Ключовими чинниками контамінації водних об'єктів виступають:

- деструкція індустріальних об'єктів та сховищ хімічних реагентів, що спричиняє неконтрольоване вивільнення токсичних сполук у поверхневі водні об'єкти;
- надходження до водного середовища боєприпасів та продуктів їх детонації;
- скидання неочищених або недостатньо очищених господарсько-побутових та промислових стічних вод без попередньої обробки;
- інтенсифікація процесів берегової ерозії та замулювання, що зумовлює підвищення каламутності водних мас та зниження їхньої оптичної прозорості.

Таблиця 2.2

Основні показники якості води у водних об'єктах

Показник	Норма (ДСТУ)	Сіверський Донець	Дніпро	Інгулець	Коментар
pH	6,5–8,5	7,2	7,8	6,9	допустимий
Зважені речовини (мг/л)	<30	45	60	50	перевищення
Азот амонійний (мг/л)	<0,5	1,2	1,8	1,5	перевищення через руйнування очисних споруд
Нітрати (мг/л)	<50	35	45	50	майже в нормі

Джерело: Станіславенк О. Ю. *Природоохоронні заходи під час військових дій* / О. Ю. Станіславенко // *Український журнал екології*. – 2023. -№1. - С. 102-109

У результаті спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій суспендованих частинок, амонійного азоту, нафтопродуктів та сполук важких металів. Деградація гідрохімічних показників водних ресурсів чинить деструктивний вплив не лише на водні екосистеми, а й на стан громадського здоров'я населення, що споживає її для питних та господарсько-побутових потреб.

Порушення гідрологічного режиму та інтенсивне антропогенне забруднення водних об'єктів зумовили суттєві трансформації у біотичній різноманітності акваторій. Зокрема, зафіксовано редукцію чисельності іхтіофауни, представників таких видів як сазан, щука та короп, що коливається в межах 20–30% у річкових системах Донецької, Луганської та Херсонської областей. Водна флора зазнає некрозу внаслідок модифікації хімічного складу гідросфери, тоді як водні безхребетні організми страждають від впливу ксенобіотиків та інтенсивних ерозійних процесів у річкових руслах. У певних водосховищах спостерігається інтенсивне розмноження токсигенних мікрободоростей, що додатково обтяжує екологічний стан біоценозів [49].

Вплив збройного конфлікту на стан водних екосистем демонструє значну регіональну диференціацію. Зокрема, Донецька та Херсонська області зазнали критичного рівня деградації, що виявляється у суттєвому зниженні рівня водних мас на 15–18%, підвищенні каламутності на 30–35% та скороченні рибних популяцій до 30%. Луганська область демонструє помірніші показники впливу, з менш вираженими втратами та ступенем контамінації. Натомість Запорізька область залишається відносно стабільною, хоча спостерігаються точкові перевищення концентрації забруднюючих речовин та замулення русел річок [36].

З метою структурування здобутих емпіричних даних та їхньої візуалізації для глибинного аналізу, доцільним представляється агрегування інтегрованих показників у форматі компаративної таблиці. Ця таблична форма репрезентує визначальні індикатори гідроекологічних трансформацій у територіальному розрізі, охоплюючи тенденції обміління, зростання суспендованих речовин (каламутності), деградацію іхтіофауни, а також превалюючі види контамінантів та інтегральний екологічний статус аквальних систем. Подібна структура інформації

сприяє ідентифікації географічних диференціацій, ступеня екологічного стресу та ареалів підвищеної вразливості, формуючи таким чином аналітичну матрицю екологічної депресії гідроресурсного потенціалу держави.

Таблиця 2.3

Зіставний аналіз гідроекологічного стану водних об'єктів у різноманітних регіональних контекстах

Регіон	Зниження рівня води (%)	Підвищення мутності (%)	Втрата риби (%)	Основні забруднювачі	Стан
Донецька обл.	15	30	25	хімія, метали, нафта	критичний
Луганська обл.	12	25	20	азот, фосфати, нафта	помірний
Херсонська обл.	18	35	30	пестициди, пром. хімія	критичний
Запорізька обл.	10	20	15	нафта, метали	відносно безпечний

Джерело: *Природоохоронна діяльність у зоні військового конфлікту / за ред. І. Г. Пономаренка. – Київ : Наукова думка, 2023. – 310 с.*

Ключовими детермінантами такої просторової варіації є:

- інтенсивність військових дій;
- наявність індустріальних об'єктів та сховищ небезпечних хімічних речовин;
- технічний стан гідротехнічних споруд;
- рівень природної самоочисної здатності водних об'єктів.

Загалом, збройний конфлікт спричиняє поглиблення диспропорцій у водопостачанні, зменшення біопродуктивності водних екосистем та істотне зростання екологічних загроз для місцевого населення.

Серед визначальних наслідків збройної агресії на гідроресурси варто виділити дестабілізацію природних гідрологічних режимів та порушення водозабезпечення населення. Деструкція гідротехнічних споруд, таких як дамби, водозабірні комплекси та шлюзи, призводить до значних змін реокінетики річкових потоків. Це, своєю чергою, індукує інтенсифікацію берегової ерозії та формування алювіальних відкладень. Зазначені процеси не тільки редукують ємнісні характеристики водних резервуарів, а й істотно ускладнюють ефективність функціонування природних механізмів аутосанації водних екосистем [22].

Екологічна обстановка на тимчасово окупованих територіях набуває особливо критичного характеру. В умовах лімітованого доступу до екологічного моніторингу та відсутності адекватного контролю, гідрохімічний стан водних об'єктів зазнав багаторазового погіршення. Локальні водосховища та річкові системи трансформувалися у резервуари акумуляції широкого спектра токсичних поллютантів, зокрема сполук важких металів, нітроген- та фосфорвмісних сполук, вуглеводнів нафтового походження та індустріальних стічних вод. Як наслідок, фіксується інтенсифікація біоаккумулятивних процесів шкідливих контамінантів у гідробіонтах, що становить екзистенційну загрозу для іхтіофауни, водних безхребетних та, зрештою, для здоров'я людського населення [6].

Крім того, значний вплив має деградація умов природного самовідновлення гідроекосистем. У ході збройних конфліктів руйнуються або зазнають уражень ключові зони розмноження іхтіофауни, дестабілізуються природні процеси седиментації донних шарів, що має критичне значення для вегетації гідрофітів та життєдіяльності водних безхребетних. Наслідком цього стає деградація біотичних угруповань, скорочення популяцій іхтіофауни та інших гідробіонтів, що безпосередньо позначається на стабільності регіонального екологічного балансу.

Окрім цього, флуктуації гідрологічного режиму мають значний вплив на аграрний та промисловий сектори. Падіння рівня води у річкових системах та водосховищах лімітує потенціал зрошення аграрних угідь, що зумовлює скорочення врожайності та дефіцит питної води для місцевого населення. Паралельно з цим, нестабільність гідрологічного режиму чинить деструктивний

вплив на функціонування водоочисних споруд та індустріальних об'єктів, внаслідок чого зростає ймовірність техногенних аварій та екологічного забруднення.

Особливої уваги заслуговують підземні водні горизонти, що також зазнали негативного впливу збройних конфліктів. Деструкція інфраструктурних об'єктів та індустріальні катастрофи провокують інфільтрацію токсикантів у ґрунтові води, що потенційно веде до довготривалих екологічних дисфункцій. Контамінація підземних водних джерел істотно ускладнює забезпечення населення питною водою на тривалий період та підвищує загрози для громадського здоров'я [1].

Донецька область. Гідрографічна мережа Донецької області представлена значними водними об'єктами, зокрема річками Сіверський Донець, Кальміус, Кривий Торець, а також комплексом Донбаських водосховищ.

Для річки Сіверський Донець характерні такі деструктивні процеси, як значна седиментація донних відкладень, деградація гідротехнічних споруд (гребель) та інтенсивна контамінація вод хімічними реагентами й нафтопродуктами. Річка Кальміус демонструє підвищений рівень каламутності та значне хімічне забруднення. Водосховища Донбасу відзначаються процесами активної седиментації мулу та значними флуктуаціями рівня водного дзеркала.

Кумулятивні наслідки цих впливів включають дефіцит водних ресурсів, що виражається у зниженні рівня води на 15–20%, скорочення рибних популяцій до 25% та загальне порушення екологічної рівноваги у водних об'єктах регіону.

Луганська область. На території Луганської області ключовими водними об'єктами є верхня течія річки Сіверський Донець, а також річки Луганка та Біленька.

Верхня течія Сіверського Дінця фіксує локальне забруднення біогенними елементами, зокрема сполуками азоту та фосфору. Річки Луганка та Біленька страждають від інтенсивних ерозійних процесів та активного замулення, переважно внаслідок руйнування гідротехнічних споруд.

Кінцеві наслідки цих явищ проявляються у скороченні водотоку до 12%, зростанні показників каламутності до 25%, а також у деградації іхтіофауни, що призводить до втрати до 20% рибних популяцій.

Херсонська область. Провідні гідрографічні об'єкти на території Херсонської області включають річку Дніпро, Каховське водосховище, а також річки Інгулець та Конка.

Річка Дніпро характеризується значними флуктуаціями рівня води, інтенсивною седиментацією русла (замуленням) та порушеннями функціонування гідротехнічних споруд, зокрема шлюзів.

Каховське водосховище демонструє підвищені показники каламутності та акумуляцію токсичних речовин.

Річки Інгулець та Конка потерпають від антропогенної контамінації азотними та фосфатними сполуками, що призвело до деградації іхтіофауни та скорочення її популяцій до 30%.

Запорізька область. Для Запорізької області ключовими водними ресурсами є річка Дніпро, річка Конка, а також численні ставки та іригаційні канали.

Річка Дніпро в цьому регіоні підтримує відносну стабільність гідрологічного режиму (рівня води), а спостерігається фрагментарне забруднення залишається в межах допустимих екологічних нормативів.

Річка Конка та канали виявляють помірну седиментацію (замулення), а також локалізовані екологічні виклики, пов'язані з несанкціонованими скидами.

Дані обставини призвели до зниження рівня водних об'єктів на 10%, зростання показників каламутності до 20% та втрати до 15% рибних ресурсів.

Збройний конфлікт в Україні призвів до значної деградації гідрологічного та гідроекологічного стану водних об'єктів. Зафіксовані наслідки включають руйнування гідротехнічних споруд та водозабірних комплексів, інтенсивну седиментацію русел річок і акваторій водосховищ, зростання рівня екотоксикологічного забруднення та суттєве скорочення чисельності водних біот. Найбільшого негативного впливу зазнали Донецька та Херсонська області, тоді як Луганська та Запорізька області характеризуються помірним або локалізованим ураженням. Для ефективної ревіталізації водних ресурсів необхідний інтегрований підхід, що передбачає відбудову інфраструктурних об'єктів, комплексне очищення водних мас та захист водних екосистем [8].

2.2. Класифікація та характеристика антропогенних забруднень водних екосистем, спричинених військовими діями

Вода є фундаментальним компонентом екосистем і першочерговим ресурсом для підтримки життєдіяльності людства. Збройні протистояння завжди супроводжуються інтенсивним антропогенним пресом на довкілля, особливо на водні акваторії. У період активних бойових дій річкові системи, озерні басейни, штучні водойми та підземні водоносні шари піддаються комплексній деградації через хімічну, фізичну та біологічну контамінацію. Це створює пряму загрозу не тільки для екологічної рівноваги, а й для здоров'я та добробуту соціуму [11].

Антропогенний вплив на гідроекосистеми в умовах збройних конфліктів характеризується багатоаспектністю та високим рівнем токсичності. Ключовими джерелами цієї контамінації виступають вибухові матеріали, нафтопродукти, комунальні та промислові відходи, а також техногенні фрагменти та змінені ґрунтові субстрати [14].

Вибухові пристрої та матеріали. Впродовж військових операцій застосовується широкий спектр вибухових речовин, зокрема тринітротолуол (ТНТ), нітрогліцерин, амоніт, а також піроксилінові композиції. Процес детонації зазначених матеріалів ініціює:

- Емісію токсичних сполук у ґрунтовий та водний субстрати, серед яких нітрати та важкі метали, що входять до складу стабілізаторів та допоміжних компонентів боєприпасів.
- Зростання концентрацій хімічних контамінантів, зокрема фенолів та амінів, які здатні персистувати в ґрунтових та поверхневих водних об'єктах упродовж значного проміжку часу, сягаючи місяців та навіть років.
- Фізичну деструкцію донних відкладень водойм внаслідок детонаційних процесів у прибережних зонах або руйнування гідротехнічних споруд, що модифікує гідрологічний режим та індукує берегову ерозію [27].

Так, у зонах інтенсивних військових дій було зафіксовано суттєве підвищення концентрації свинцю (Pb) та кадмію (Cd) у флювіальних водах у 5–7 разів відносно

доконфліктного періоду. Ці металеві елементи здатні до біоаккумуляції в гідробіонтах та подальшої інтеграції в трофічні ланцюги.

Вплив паливно-мастильних матеріалів на водні екосистеми в умовах бойових дій. Експлуатація озброєння та військової техніки (ОВТ), транспортних засобів і систем енергозабезпечення передбачає інтенсивне споживання паливно-мастильних матеріалів (ПММ) [1]. Під час ведення бойових дій:

- Порушення цілісності резервуарів для зберігання, пошкодження технічних засобів або виникнення нештатних ситуацій (аварій) призводить до неконтрольованого витоку та розповсюдження паливно-мастильних матеріалів (ПММ) у водні об'єкти.

- Наслідком цього є формування на поверхні водного дзеркала стійкої вуглеводневої плівки, яка інгібує газообмін між атмосферою та гідросферою та обмежує проникнення сонячного світла, що є критично важливим для життєдіяльності водних організмів.

- Руйнування прибережних інженерних споруд зумовлює інфільтрацію нафтовмісних сполук у ґрунтові шари, що суттєво перешкоджає природним процесам самоочищення водних екосистем [23].

Для забезпечення всебічного осмислення географічного розрізу екологічних деструкцій, вчинених агресором на території України, доречним видається імплементація регіонального аналітичного підходу.

Виявлена територіальна неоднорідність цих девіацій демонструє не тільки гравітацію збройних конфліктів, але й специфічні риси антропогенного тиску на екосистеми певних регіонів. Відтак, графічна репрезентація статистичних показників, диференційованих за адміністративно-територіальними одиницями, слугує фундаментальним інструментом для ідентифікації просторових патернів та локалізації осередків підвищеного екологічного ризику.

Представлені нижче візуальні матеріали відображають кількісний розподіл екологічних правопорушень, вчинених російською федерацією в областях України, що уможливорює виявлення регіональних диспаратів, осередків екологічних втрат та масштабів деструктивного впливу збройного конфлікту на навколишнє

середовище. Ці дані закладають аналітичний базис для подальшого осмислення екологічних наслідків військових операцій в контексті забезпечення територіальної екологічної безпеки та резистентності природних екосистем.

Кількість екозлочинів РФ по областях



Рис. 2.1. Кількість екозлочинів РФ по областях

Джерело: За 47 днів повномасштабної війни ГО Екодія зафіксувала майже півтори сотні екозлочинів [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/za-47-dniv-pivtory-sotni-ekozlochyniv.html>

Кількість екозлочинів РФ за категоріями

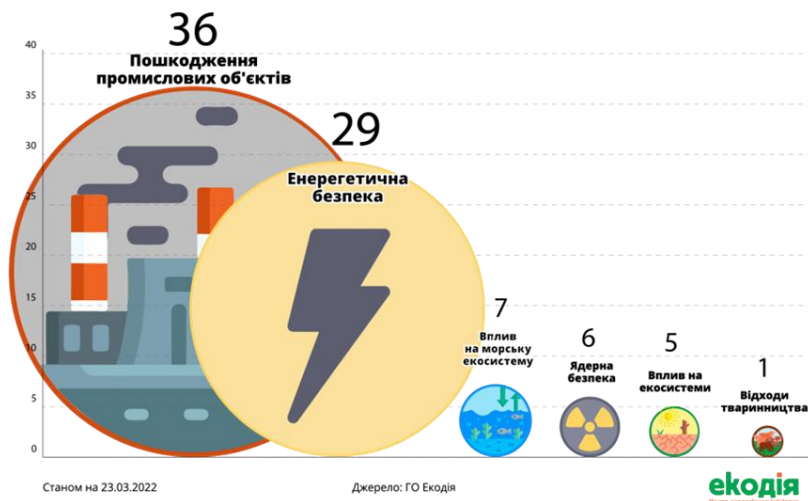


Рис. 2.2. Кількість екозлочинів РФ по областях

Джерело: Місяць війни. Злочини проти довкілля. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/zlochyny-proty-dovkillia.html>

Вплив антропогенних відходів та стічних вод в умовах збройних конфліктів. Внаслідок збройних конфліктів нерідко спостерігається деградація або повне

руйнування інженерних мереж водопостачання та водовідведення. Це спричиняє низку негативних екологічних та санітарно-епідеміологічних наслідків, зокрема:

- Безконтрольне скидання неочищених стічних вод, що містять фекальні маси, синтетичні мийні засоби та широкий спектр побутових хімікатів, безпосередньо до поверхневих водних об'єктів (річок, озер, ставків).
- Розповсюдження патогенної мікрофлори, зокрема бактерій роду *Escherichia* (наприклад, *E. coli*) та *Salmonella*, що суттєво підвищує епідеміологічні ризики та загрозу інфекційних захворювань для населення та представників фауни.
- Зростання біогенного навантаження, яке стимулює процеси інтенсивної евтрофікації водних екосистем та призводить до формування зон гіпоксії та аноксії (так званих «мертвих зон») у водоймах [18].

Особливу небезпеку цей тип забруднення становить для громад, які залежать від цих водних ресурсів для питного водопостачання, приготування харчових продуктів або зрошення сільськогосподарських угідь.

Екологічні наслідки надходження техногенних фрагментів та ґрунтових відкладень у водні екосистеми. Унаслідок інтенсивних бойових дій та деструкції інфраструктурних об'єктів до гідрологічних систем активно надходять:

- Крупнодисперсні антропогенні залишки (зокрема, фрагменти бетону, цегли, металеві елементи), які провокують морфологічні зміни донного ландшафту річкових русел та стоячих водойм.
- Суспендовані ґрунтові фракції та дрібнодисперсні осади, що зумовлюють значне підвищення турбідності водного середовища та редукцію проникнення сонячного світла.
- Акумуляція цих відкладень на дні спричиняє деградацію донних субстратів, що утруднює нерест іхтіофауни, міграцію бентосних безхребетних та пригнічує розвиток гідрофітів.

Уражені акваторії характеризуються зростанням мутності води до 6–8 разів у порівнянні з доконфліктними показниками, що критично порушує процеси фотосинтезу та дестабілізує кисневий режим екосистеми [34].

Синергізм впливу антропогенних контамінантів. Варто підкреслити, що джерела забруднень, зумовлених військовими діями, рідко функціонують ізольовано; натомість вони взаємодіють, посилюючи та мультиплікуючи деструктивний вплив на довкілля.

Зокрема, поєднання хімічних сполук та нафтових вуглеводнів із фрагментами руйнувань і суспендованими частками у водному середовищі значно пришвидшує летальність гідробіонтів.

Біологічні контамінанти проліферують та інтенсифікують свою патогенну активність в умовах надмірного органічного навантаження та дефіциту розчиненого кисню (гіпоксії).

Механічна контамінація та замулення донних відкладень суттєво перешкоджають природним процесам автоочищення водних об'єктів та сповільнюють регенерацію екосистем у постконфліктний період [24].

Антропогенні фактори забруднення водних екосистем, спричинені мілітарними конфліктами, є взаємозалежними та формують багатофакторну загрозу як для гідросфери, так і для здоров'я населення. Ефективний контроль над ними вимагає безперервного екологічного моніторингу та своєчасного реагування на кожен інцидент контамінації.

Одним із ключових каталізаторів деградації аквальних екосистем, спричиненої військовими діями, є порушення просторово-функціональної цілісності гідрографічних мереж. Цей феномен маніфестується у фрагментації водних ареалів, елімінації функціональних екологічних коридорів та деструкції нативних міграційних шляхів гідробіонтів. Модифікація морфології річищ, сегрегація окремих акваторіальних сегментів, формування антропогенних обструкцій та осередків стагнації спричиняють утворення мозаїчної архітектури деградованих акваторій, в межах яких спостерігається диференційована дистрибуція контамінантів та екологічних ризиків

Істотного значення набуває також дисбаланс біогеохімічних кругообігів ключових біогенних елементів, зокрема карбону, нітрогену, фосфору та сульфуру, що кардинально модифікує функціональні параметри аквальних екосистем на

фундаментальному рівні. Індукована конфліктами контамінація впливає на кінетику мінералізаційних процесів, архітектоніку мікробних угруповань та вектори біохімічних трансформацій речовин. Як наслідок, ендегенні регуляторні механізми підтримання екологічного гомеостазу нівелюють свою ефективність. Це продукує передумови для формування нестабільних екологічних режимів, пронепадлежних до раптових фазових зсувів та катастрофічних переходів у деградовані стани [3].

Значну загрозу становить утворення стійких екологічних «пасток», де забруднені акваторії водних екосистем трансформуються у постійні джерела вторинної контамінації. У межах таких зон токсичні сполуки безперервно мігрують у водний простір із донних накопичень, прибережних ґрунтових масивів та деструктурованих антропогенних споруд, що підтримує сталий рівень токсичного пресингу навіть за умови відсутності нових джерел забруднення. Ця обставина істотно ускладнює природні сукцесійні процеси та ефективну екологічну реставрацію [16].

У соціально-екологічному дискурсі, вищезгадані феномени трансформуються в системну загрозу гідрологічній безпеці, набуваючи полівалентного характеру. Ця загроза маніфестується посиленням залежності соціуму від екологічно сенситивних гідроресурсів, редукцією якості питної води, біоаккумуляцією токсичних ксенобіотиків у трофічних ланцюгах та експоненційним зростанням вірогідності розвитку хронічних нозологій серед популяції. Паралельно, деградація гідробіоценозів спричиняє скорочення рекреаційного потенціалу водних об'єктів, ерадикацію біологічного розмаїття та редукцію економічної рентабельності експлуатації водних ресурсів. Консеквентно, деструктивні трансформації в гідроекосистемах конвертуються не лише в суто екологічну проблематику, але й у фундаментальну соціально-економічну дилему, що перманентно детермінує демографічну резистентність регіонів, гарантування продовольчого суверенітету та індекс добробуту локальних ком'юніті. Дисфункція гідрологічної безпеки характеризується каскадним ефектом, оскільки деградація одного компонента екосистеми ініціює ланцюг вторинних, кумулятивних наслідків

– від аберацій у гідродинамічному режимі до експоненціального наростання вірогідності катастрофічних екологічних дизрупцій та суспільних дисонансів.

У стратегічному вимірі, адміністрування водних ресурсів в умовах постконфліктного відновлення імперативно вимагає концептуалізації та імплементації інтегрованої парадигми воєнно-екологічного менеджменту. Ця архітектура повинна фундаментуватися на синергії проактивного екологічного моніторингу, геоінформаційного просторового аналізу із застосуванням новітніх ГІС-технологій, а також на стратегічному плануванні, детермінованому комплексною апробацією екологічних та соціоекономічних ризиків. Корінними компонентами даної системи є:

Моніторинг та превентивне оповіщення — створення конфігурації стаціонарних і пересувних лабораторних комплексів для діагностики гідрохімічних, гідрофізичних та гідробіологічних параметрів водних мас, з імплементацією токсикологічної експертизи гідробіонтів;

Геопросторове моделювання та аналіз — застосування геоінформаційних систем для візуалізації ареалів контамінації, ідентифікації пріоритетних сегментів та прогнозування дисперсії полютантів у гідричних і прибережних екосистемах;

Оцінка ризиків та сценарна апробація — синтез інформаційних масивів щодо мілітарних операцій, антропогенної імпульсації та кліматичних детермінантів для проспективного моделювання потенційних екологічних та соціогенних наслідків;

Регенеративні та профілактичні стратегії — імплементація екосистемного парадигматичного підходу, що передбачає біо- та фіторе mediaційні технології деконтамінації акваторій, ревіталізацію гідрофітних комплексів, реституцію авторегуляторних функцій та створення екологічних буферів для протекції стратегічно важливих гідрологічних об'єктів.

Означена система орієнтована не тільки на редукцію та елімінацію деструктивних ефектів контамінації, але й на посилення екологічної резильєнтності гідроекосистем. Це передбачає реституцію авторегуляторних механізмів водних систем, консервацію їхньої біологічної диверсифікації, гарантування гомеостазу гідрологічного циклу та інституціалізацію перманентних адаптаційних механізмів

до посткризових метаморфоз. Інкorporація соціоекологічних імперативів у парадигми адміністрування гідроресурсів дозволяє не лише мінімізувати екологічні ризики, але й детермінувати сталий прогрес регіонів, оптимізувати якість життєдіяльності соціуму та консолідувати продовольчий суверенітет і економічну стабільність.

Отже, інтегрований мілітарно-екологічний менеджмент водних ресурсів у постконфліктний період постає як провідний механізм гарантування гідрологічної безпеки, стабілізації соціоекономічного прогресу регіонів та конституювання резильєнтних екосистем, спроможних персистентно протистояти потенційним антропогенним та нативним стрес-факторам у проспективному часовому горизонті.

РОЗДІЛ 3

ДІАГНОСТИКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ТА ПРОГНОЗНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

3.1. Аналіз ступеня екологічної загрозовості для водних екосистем та населення

Функціональний стан водних екосистем є визначальним індикатором регіональної екологічної стійкості, оскільки він демонструє спроможність водних об'єктів до підтримання біологічного розмаїття, ефективного самоочищення та забезпечення збалансованого гідрологічного режиму.

На теренах сучасної України, де посилений антропогенний пресинг акумулюється з деструктивним впливом військових операцій, фіксуються глибинні трансформації у фізико-хімічних, біологічних та гідрологічних параметрах річкових систем, озер та водосховищ. Дестабілізація природних регуляторних механізмів водних систем проявляється у коливаннях концентрацій розчиненого кисню, флуктуаціях рівнів біогенних елементів, редукції чисельності чутливих гідробіонтів та морфологічній перебудові донних субстратів.

Екологічна вразливість водних екосистем трактується як інтегрований показник потенційної шкоди, зумовленої сукупністю як антропогенних, так і природних дестабілізуючих факторів. Вона охоплює не лише прямі наслідки забруднення чи модифікації гідрологічного режиму, а й опосередковані ефекти, зокрема дизрегуляцію трофічних ланцюгів, скорочення природних процесів самовідновлення та зміщення біоценотичної рівноваги. Зростання даного індикатора сигналізує про посилення екологічних ризиків для популяцій, які використовують водні ресурси для питного водозабезпечення, господарсько-побутового вжитку, іригації та рекреаційних цілей [2].

У холістичному підході до оцінки функціонального статусу водних екосистем особливий акцент ставиться на комплексній взаємодії абіотичних та біотичних компонентів, що уможливорює здійснення більш прецизійної діагностики

деградаційних явищ та прогнозування потенційних загроз для екологічної стійкості регіонального масштабу. Аналіз ступеня загрозовості вимагає комплексної оцінки взаємодії біотичних та абіотичних складових водного середовища та передбачає інтеграцію даних хімічного, біологічного та соціально-економічного моніторингу. Ідентифікація ареалів підвищеного ризику уможливорює визначення пріоритетів у плануванні природоохоронних заходів, спрямованих на збереження гідроресурсів, а також у розробці стратегій мінімізації несприятливого впливу на стан громадського здоров'я [33].

У межах системного аналізу екологічних ризиків для водних екосистем ідентифікують такі ключові категорії загроз:

Хімічне забруднення – ключовими детермінантами хімічного забруднення є промислові викиди, стічні води агропромислових комплексів, а також інтенсивне застосування мінеральних добрив та пестицидів. Серед провідних токсичних агентів варто виокремити важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, нікель), різноманітні органічні забруднювачі (поліхлоровані біфеніли, феноли, нафтопродукти), а також сполуки азоту та фосфору, які провокують процес евтрофікації водойм. Наукові дослідження підтверджують, що перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) зазначених важких металів веде до біоаккумуляції цих речовин у водних біотах та їх подальшого надходження у трофічні ланцюги, що загрожує здоров'ю людини.

Біологічне забруднення – біологічне забруднення виникає внаслідок інтродукції патогенних мікроорганізмів, паразитарних форм та інвазивних чужорідних видів. Такі мікробіологічні індикатори, як коліформи, *Escherichia coli* та ентеробактерії, свідчать про контамінацію водного середовища і безпосередньо впливають на санітарно-епідеміологічний стан населення. Флуктуації у видовому різноманітті зоопланктону та макробентосу слугують надійними біоіндикаторами екологічного стану водних об'єктів.

Фізичне забруднення – ця категорія охоплює процеси седиментації (осадження мулу), ерозії прибережних зон та надходження твердих антропогенних відходів (побутових і промислових) у водні об'єкти. Інтенсивна седиментація

зумовлює деградацію донних відкладень, скорочення біологічного різноманіття та дестабілізацію кисневого балансу.

Гідроморфологічні зміни – модифікації природного гідрологічного режиму, викликані спрямленням річкових русел, зведенням гідротехнічних споруд (дамб, водосховищ) та інтенсифікацією водоспоживання. Ці процеси редукують природну самоочисну спроможність водних об'єктів, збільшують ризик виникнення паводкових явищ та провокують втрату есенціальних середовищ існування для гідробіонтів.

Антропогенне навантаження на населення – ця категорія охоплює використання водних ресурсів для питного забезпечення, господарсько-побутових та промислових цілей, а також рекреаційну діяльність. Висока демографічна щільність у прибережних акваторіях підвищує ймовірність поширення водно-трансмисивних захворювань та обмежує доступність якісної питної води для соціуму [47].

Для комплексної оцінки екологічної загрозовості використовують міждисциплінарні методики, що поєднують хімічні, біологічні, гідрологічні та соціальні підходи.

Хімічний аналіз. Виконується згідно з державними стандартами (ДСанПіН, ГОСТ, ISO 5667) та включає визначення концентрацій важких металів, органічних та біогенних забруднювачів. Важливим етапом є порівняння результатів з нормативними гігієнічними концентраціями та екологічними критеріями якості води [8].

Біологічний аналіз. Здійснюється шляхом визначення індексів біорізноманіття та біоіндикаційних показників. Використовують макро- та мікрофауни, зокрема індикаторні види ракоподібних, бентосу, фітопланктону. Значна зміна складу або чисельності цих груп є прямим свідченням антропогенного або природного стресу на екосистему.

Гідроморфологічний аналіз. Включає вимірювання параметрів течії, рівнів води, ерозійних процесів, дослідження змін русла річки та використання ГІС-технологій для картографування антропогенних впливів.

Соціально-екологічний аналіз. Оцінює ризики для населення, включає статистичні дані про захворюваність водно-інфекційними хворобами, аналіз водокористування та доступності чистої води. Використовуються методи ризик-аналізу, такі як визначення зони потенційного впливу та індексу небезпеки.

З метою стандартизації результатів застосовується бальна метрика на п'ять пунктів, що охоплює діапазон від початкового (1) до граничного (5) рівня загрози.

Таблиця 3.1

Бальна шкала оцінки факторів загрозливості [15]

Фактор загрозливості	1 – низький	2	3 – середній	4	5 – високий
Хімічне забруднення	< ПДК/норма	±10% від норми	10–50% перевищення	50–100% перевищення	>100% перевищення
Біологічне	Індикаторні види відсутні	Мала кількість змін	Зміни у 50% видів	Масові зміни видового складу	Значна загибель видів
Фізичне	Немає сміття	Розкидане сміття	Локальні осадження	Значні осадження	Масове забруднення
Гідроморфологічне	Норма течії та рівня	Локальні зміни	Відчутні зміни	Значні зміни русла	Критичні зміни русла
Соціальне навантаження	Низьке	Помірне	Середнє	Високе	Дуже високе

Джерело: Екологічні наслідки воєнних дій на території України / за ред. С.Г. Дубаса. – Львів: Центр екологічних досліджень, 2023. – 200 с.

Презентований табличний матеріал ілюструє бально-рейтингову систему для діагностики ступеня екологічної загрозливості гідробіологічних систем за низкою релевантних чинників. Кожен індикаторний критерій градовано в діапазоні від 1 до 5 балів, що відображає інтенсивність його впливу. Такий підхід уможливує комплексний синтез емпіричних даних та компаративний аналіз різних гідроекосистем. Впровадження даної шкали забезпечує підвищення об'єктивності та уніфікацію діагностичних процедур, що є фундаментальним для проведення глибокого академічного аналізу.

Підсумковий синтетичний індекс ризику (ІЗ) формується як усереднене значення кожного з його компонентів за допомогою формули (3.1):

$$ІЗ = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}, \text{ де } K_i \text{ – оцінка, } i \text{ – го фактора, } n = 5 \quad (3.1)$$

Даний індекс є аналітичним інструментом, що забезпечує можливість компаративної оцінки рівня потенційної загрози, притаманної різноманітним водним екосистемам. Це уможлиблює ефективну ідентифікацію пріоритетних ділянок для поглибленого екологічного моніторингу та подальшого планування коригувальних або регулятивних заходів.

Імплементация комплексного показника вразливості уможлиблює ефективну систематизацію отриманих моніторингових даних та сприяє виділенню першочергових водних об'єктів для цілеспрямованого впровадження природоохоронних ініціатив [11].

Провідними детермінантами екологічної загрози виступають антропогенне хімічне контамінування та інтенсивна водозабірна активність людства, що верифікується даними актуальних наукових студій в аквальних екосистемах України. Конкретним проявом є акумуляція металів-токсикантів (ртуть, свинець, кадмій), нафтових вуглеводнів та поліциклічних ароматичних вуглеводнів, а також зростання вмісту нітратних та фосфатних сполук. Це деструктивно позначається на параметрах питної води, ініціює процеси евтрофізації та погіршує кондицію біотичних складових екосистем.

Інтегральні оцінки екологічного статусу засвідчують редукцію комплексних індикаторів гідрохімічної якості у критичних регіонах, що аргументує нагальну потребу в пріоритетному інтервенційному втручанні та імплементации ревіталізаційних заходів задля стабілізації функціональних і регуляторних механізмів у гідроекосистемах.

Потенційні наслідки для населення, а саме хімічні, біологічні, фізичні, гідроморфологічні та соціальні можна розглянути в таблиці 3.2, а також тип їх впливу.

Таблиця 3.2

Потенційні наслідки для населення

Фактор загрозовості	Тип впливу	Можливі наслідки
Хімічне	Хронічний, токсичний	Захворювання печінки, нирок, рак
Біологічне	Інфекційний	Дизентерія, гепатит А, кишкові інфекції
Фізичне	Естетичний, безпосередній	Неприємний запах, відсутність рекреаційних зон
Гідроморфологічне	Соціально-економічний	Наводнення, скорочення води для побуту
Соціальне	Водокористування	Підвищений ризик хвороб, обмеження доступу до безпечної води

Джерело: Вплив воєнних дій в Україні на водні ресурси та стан довкілля [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://firtka.if.ua/blog/view/vpliv-voennikh-diyi-v-ukrayini-na-vodni-resursi-tastan-dovkillia>

Представлена таблиця висвітлює безпосередній взаємозв'язок між комплексом екологічних детермінант та станом здоров'я, а також соціальним добробутом населення. Вона слугує інструментом для співвіднесення екологічних ризиків із відповідними соціально-економічними імплікаціями, що дозволяє використовувати отримані дані для стратегічного планування заходів у сфері охорони громадського здоров'я та управління водними ресурсами.

Настійно рекомендовано сформувати перманентну систему моніторингу та всебічної оцінки ризиків для людського здоров'я, котра має інтегрувати систематичний контроль за ключовими хімічними, біологічними та фізико-хімічними показниками якості водного середовища [9].

Хімічне контамінування виступає одним із провідних чинників деградації поверхневих водних екосистем. Загроза, що походить від такого обтяження, полягає не лише в індивідуальній токсичності певних речовин, а й у кумулятивному та

синергічному взаємовпливі, за якого одночасна коконцентрація кількох контамінантів суттєво потенціює їхній негативний вплив. Зокрема, комбінована дія важких металів та органічних ксенобіотиків здатна спричинити інгібування ензиматичної активності у водних організмів, а також редукцію їхнього адаптивного потенціалу.

Елементи-важкі метали відзначаються значною біоаккумулятивною спроможністю, що призводить до їх акумуляції та біомагніфікації у трофічних мережах. Наслідком контамінації водних об'єктів важкими металами є формування пролонгованої загрози для людської популяції, що зумовлена консюмацією інфікованих рибних ресурсів та інших гідробіонтів. Отже, хімічний фактор виявляє двоякий характер впливу: безпосередній – через деградацію фізико-хімічних властивостей водного середовища, та опосередкований – шляхом трансмісії через трофічні ланцюги [5].

Біологічні індикатори (біоіндикатори) визнаються одними з найбільш репрезентативних інструментів при оцінці екологічного ризику, оскільки вони демонструють інтегровану реакцію екосистеми на сукупний вплив зовнішніх чинників. Трансформація таксономічного складу фітопланктону, зоопланктону та макробентосу уможлиблює ідентифікацію деградаційних процесів, які ще не реєструються за результатами хіміко-аналітичних досліджень.

Зниження чисельності сенситивних видів та домінування евритопних або толерантних організмів є індикатором перманентної антропогенної контамінації водного середовища. Особливу загрозу становить мікробне забруднення, оскільки воно безпосередньо впливає на санітарно-епідеміологічне благополуччя населення. Присутність патогенних мікроорганізмів у поверхневих водних об'єктах суттєво підвищує ймовірність спалахів гідрогенних інфекційних захворювань, особливо в регіонах з децентралізованим водозабезпеченням.

Гідроморфологічні трансформації водних екосистем ключовим чином детермінують їхні саморегуляційні та самоочисні потенціали. Руслорегулювальні заходи, зокрема спрямлення русел, модифікація гідрологічного стоку та уніфікація природної динаміки гідрологічного режиму, спричиняють редукцію структурної

складності аквальних систем. За таких умов навіть помірний антропогенний пресинг здатен ініціювати стрімку деградацію екологічного благополуччя.

Емпіричні дані переконливо свідчать, що трансформовані річкові системи з порушеною гідроморфологічною цілісністю характеризуються істотно збідненою біотичною різноманітністю та демонструють підвищену вразливість до антропогенних навантажень. Відтак, гідроморфологічний аспект позиціонується як ключовий модифікатор екологічної вразливості, котрий каталізує та акцентує деструктивний вплив супутніх антропогенних і природних стресорів.

Оцінювання екологічних ризиків без урахування соціального аспекту є концептуально неповним, оскільки саме людство виступає кінцевим реципієнтом деструктивних екологічних впливів. Експлуатація поверхневих гідроресурсів для питного водопостачання, господарсько-побутових та рекреаційних потреб детермінує нерозривний взаємозв'язок між гідроекологічним статусом водних екосистем та рівнем громадського здоров'я. Підвищення інцидентності захворювань, дефіцит безпечної питної води та девальвація рекреаційного потенціалу водних об'єктів є безпосередніми маніфестаціями високого ступеня екологічної загрозовності. У цьому контексті, холистичний підхід до оцінювання ризиків уможливорює не лише ідентифікацію критичних ділянок, але й превентивне прогнозування соціально-економічних імплікацій деградації водних ресурсів [30].

Варто особливо підкреслити, що в умовах військових конфліктів та повоєнного відновлення екологічна вразливість водних екосистем набуває рис високодинамічного та просторово диференційованого явища. Такий стан не може бути повноцінно відображений виключно статичними показниками якості води. Бойові дії каталізують виникнення як транзиторних, так і латентних джерел забруднення, що проявляється, зокрема, у деструкції промислової та муніципальної інфраструктури, обводненні антропогенно навантажених територій, порушенні функціонування систем водовідведення та акумуляції токсичних сполук у донних відкладах. За таких обставин екологічний ризик визначається не лише інтенсивністю первинного впливу, а й пролонгованою тривалістю екологічного

післяефекту, що істотно ускладнює передбачення траєкторій відновлювальних процесів у гідроекосистемах.

Особливого значення набуває роль донних седиментів як депо вторинної контамінації, зважаючи на їхню здатність до акумуляції важких металів, нафтових вуглеводнів та органічних ксенобіотиків із наступною їх ремобілізацією у водну товщу під впливом гідродинамічних або гідрохімічних флуктуацій. Таким чином, навіть за умов формального зниження концентрацій забруднювальних речовин у водній масі, екосистема може зберігати латентний стан екологічної небезпеки.

Принципове значення має кумулятивна природа екологічних ризиків, що полягає в синергетичному впливі множини різнорідних чинників. Їхня інтегрована дія генерує ефект, який значно перевершує арифметичну суму індивідуальних впливів кожного з них. Зокрема, поєднання антропогенної хімічної контамінації з морфологічними трансформаціями водних об'єктів істотно редукує стійкість біоценотичних угруповань та дестабілізує їхні природні механізми саморегуляції. За таких обставин, навіть помірний соціоекономічний тиск здатен ініціювати трансформацію екосистеми до деградованого чи навіть кризового функціонального стану [21].

Не менш релевантним є просторовий аналіз екологічної загрозовості, який уможливорює врахування гетерогенності ризиків в межах річкових водозборів. Застосування басейнового підходу дозволяє ефективно ідентифікувати ділянки акумуляції забруднювальних речовин, визначити траєкторії їхньої міграції та оцінити трансмісію екологічних небезпек від верхів'їв до пониззя річкових систем. Імплементація геоінформаційних систем (ГІС) в процес оцінювання значно підвищує прецизійність локалізації критичних сегментів, формуючи науково-обґрунтовану базу для розробки та впровадження цільових природоохоронних заходів.

З огляду на взаємопереплетення екологічних та соціокультурних детермінант, є доцільним розглядати екологічну вразливість аквальної екосистеми як інтегральну складову системи національної безпеки. Це зумовлено тим, що деградація поверхневих гідроресурсів безпосередньо впливає на гідробезпеку, продовольчу

стабільність та санітарно-епідеміологічне благополуччя населення. Винятково вразливими виступають сільські та прифронтові території, де відсутність централізованих систем водопостачання посилює критичну залежність мешканців від якісних характеристик локальних водних джерел [45].

Таким чином, описане тлумачення екологічної загрозовості передбачає її концептуалізацію як цілісної багаторівневої системи ризиків, що генерується на перетині природних, антропогенних і соціокультурних чинників. Саме такий підхід формує методологічне підґрунтя для переходу від констатуючого аналізу екологічного стану до прогностично-управлінських моделей, орієнтованих на мінімізацію довготривалих екологічних та медико-соціальних імпаکتів деградації поверхневих водних об'єктів.

3.2. Моделювання динаміки гідроекологічного статусу поверхневих водних об'єктів у поствоєнний період

Поверхневі водні об'єкти України є фундаментальним елементом у забезпеченні питного водопостачання населення, збереженні біологічного різноманіття, а також у функціонуванні індустріального, аграрного та рекреаційного секторів національної економіки. Проте, бойові дії провокують глибокі деструктивні зміни в системній рівновазі гідроекосистем, що проявляється у деградації гідрологічного режиму, погіршенні гідрохімічних показників водних мас, руйнуванні водогосподарської інфраструктури та ескалації екологічних ризиків. В умовах постконфліктного відновлення особливо важливого значення набуває науково детерміноване прогнозування трансформацій гідроекологічного стану поверхневих вод. Це є імперативною передумовою для розробки ефективних стратегій ревіталізації та інтегрованого управління водними ресурсами.

Моделювання динаміки гідроекологічного статусу водних об'єктів позиціонується як один із ключових інструментів сучасної екологічної методології. Воно дозволяє здійснювати інтегральну оцінку наслідків антропогенних та природних чинників, прогнозувати сценарії еволюції водних систем у часово-

просторовому континуумі, а також формувати обґрунтовані стратегії управління в умовах глибокої невизначеності, притаманної постконфліктному середовищу [44].

Гідроекологічний статус поверхневих водних об'єктів є комплексним індикатором, який репрезентує цілісний стан водної екосистеми, охоплюючи гідрологічні, гідрохімічні, гідробіологічні та морфологічні параметри. Його формування та оцінка здійснюються згідно з національними та міжнародними регламентами, зокрема з фундаментальними положеннями Водної рамкової директиви Європейського Союзу, що вимагають комплексної кваліфікації екологічного та хімічного стану водних мас.

Ключові компоненти гідроекологічного статусу включають:

- гідрологічний режим (дебіт водного потоку, водність, варіації рівня води та сезонні флуктуації);
- фізико-хімічні параметри (температура, загальна мінералізація, концентрація розчиненого кисню, вміст біогенних сполук та важких металів);
- біологічні індикатори (склад фітопланктону, макрофіти, бентосні організми, іхтіофауна);
- морфометричні характеристики русла та прибережних біотопів [24].

В умовах післявоєнного відновлення процес кваліфікації гідроекологічного статусу стикається з додатковими викликами, зумовленими дією специфічних антропогенних чинників. До них належить контамінація водних мас вибухонебезпечними речовинами, нафтопродуктами, деструктивними матеріалами зруйнованої інфраструктури. Крім того, значний вплив справляють модифікації гідрологічного режиму, спричинені пошкодженнями гідротехнічних об'єктів.

Збройні конфлікти справляють багатоаспектний та комплексний вплив на поверхневі водні екосистеми. Прямі деструктивні наслідки проявляються у фізичній деградації русел річок, гребель, водосховищ, іригаційних каналів та споруд для очищення стічних вод. Опосередковані ефекти зумовлені трансформацією землекористування, деградацією ґрунтового покриву, інтенсифікацією ерозійних процесів та порушенням цілісності природних ландшафтів водозбірних басейнів.

Особливу загрозу становлять процеси вторинної контамінації водних об'єктів, які можуть мати пролонгований характер та тривати десятиліттями після припинення активних військових операцій. До таких процесів належать:

- міграція поллютантів та токсичних сполук з контамінованих ґрунтів до гідросистем;
- вивільнення важких металів та продуктів деградації вибухових речовин з донних відкладів;
- антропогенна евтрофікація, спровокована неконтрольованим скиданням неочищених стічних вод.

У динамічній перспективі сукупність цих факторів детермінує нестабільність гідроекологічного статусу, що обумовлює нагальну потребу в імплементації прогностичних моделей для оцінювання довгострокових тенденцій регенерації або подальшої деградації водних екосистем [27].

Моделювання гідроекологічного стану ґрунтується на системній парадигмі, згідно з якою поверхневі водні об'єкти трактуються як комплексні динамічні відкриті системи з численними механізмами зворотного зв'язку. Теоретичним підґрунтям таких моделей слугують фундаментальні принципи збереження речовини та енергії, диференційні рівняння гідродинаміки, а також концепції екологічної гомеостази та резистентності екосистем.

Вибір конкретного інструментарію моделювання детермінується цілями аналізу, що зумовлює застосування різноманітних типологій моделей:

- Концептуальні моделі, які візуалізують каузальні взаємозв'язки між ключовими детермінантами впливу;
- Математичні моделі, базовані на апараті систем диференціальних рівнянь;
- Статистичні та емпіричні моделі, що ґрунтуються на ретроспективному аналізі багаторічних часових рядів обсерваційних даних;
- Імітаційні та комп'ютерні моделі, які уможливають реплікацію сценаріїв динаміки розвитку системи у часі.

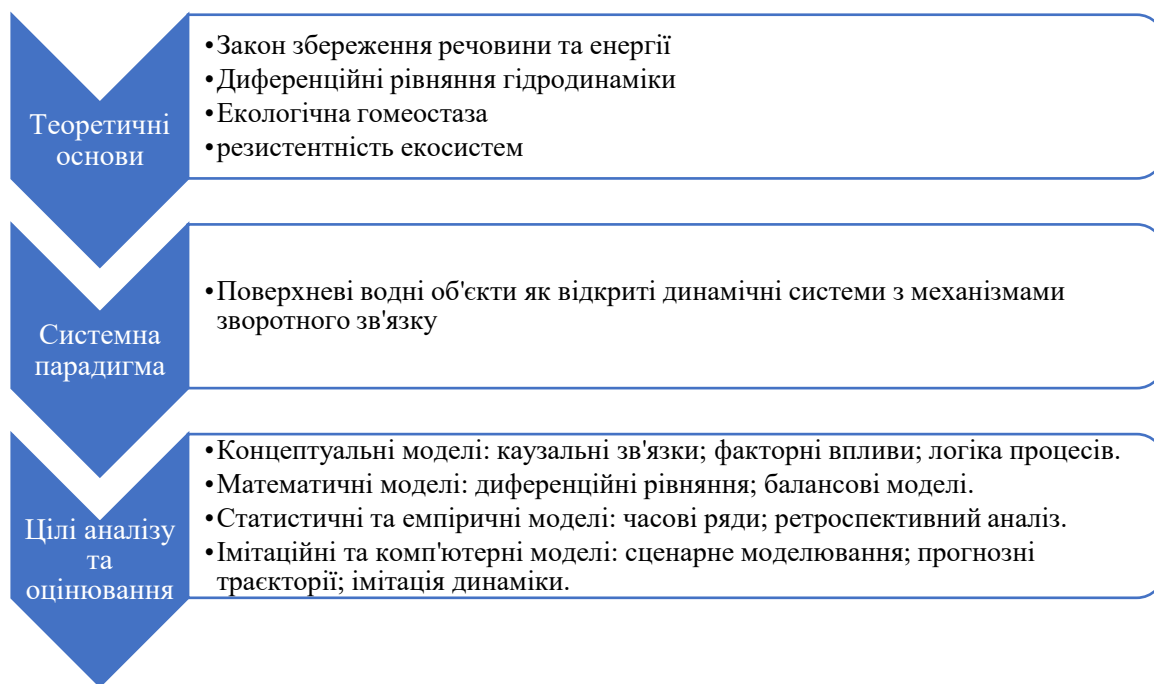


Рис. 3.1. Моделювання гідроекологічного стану поверхневих вод

Джерело: *Екологічні проблеми під час військових дій / за ред. Н. М. Хмельницької. – Київ : Видавництво "Екологічна думка", 2023. – 243 с.*

В умовах поствоєнної відбудови та невизначеності особливого пріоритету набувають адаптивні моделі, здатні інтегрувати інформацію за умов неповноти та фрагментарності вихідних даних [16].

Процедура моделювання динаміки гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів охоплює низку послідовних стадій.

Початкова стадія полягає в акумуляції та ретельному аналізі емпіричних даних. Цей комплекс інформації включає дані гідрометеорологічних спостережень, результати фізико-хімічного та гідробіологічного аналізу водних проб, матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та висновки польових досліджень.

Наступним кроком є вибір архітектури моделі та ідентифікація критичних параметрів, що демонструють найбільшу реакцію на впливи, пов'язані з воєнними діями та післявоєнним відновленням. До цих індикаторів відносять рівні концентрацій поллютантів, швидкість природної асиміляції водного середовища та інтенсивність біопродуктивних циклів.

Третя фаза передбачає калібрування та валідацію моделі на базі існуючих емпіричних спостережень. Однак у післявоєнний період ця стадія часто зазнає

ускладнень через фрагментарність або втрату частини моніторингових даних, що зумовлює потребу в імплементації методів експертного оцінювання та застосуванні сценарного аналізу.

Сценарне моделювання є потужним методологічним інструментом для аналізу потенційних траєкторій відновлення поверхневих водних екосистем. Зазвичай, у цьому контексті розглядають декілька ключових сценаріїв: інерційний, оптимістичний та песимістичний. Інерційний сценарій передбачає збереження поточних тенденцій розвитку без запровадження активних коригуючих заходів. Оптимістичний сценарій базується на імплементації комплексних природоохоронних програм та модернізації водогосподарської інфраструктури. Натомість, песимістичний сценарій враховує можливі затримки у виконанні реставраційних робіт та збереження значного антропогенного тиску на водні об'єкти [19].

Застосування сценарного підходу в моделюванні дозволяє кількісно оцінити часові горизонти, необхідні для досягнення задовільного або доброго гідроекологічного стану, а також ідентифікувати найбільш вразливі сегменти водних об'єктів.

Результати такого моделювання динаміки гідроекологічного статусу набувають суттєвого прикладного значення для системи управління водними ресурсами. Вони активно використовуються у процесі розробки планів управління річковими басейнами, при пріоритизації відновлювальних заходів, для обґрунтування екологічних нормативів та верифікації ефективності природоохоронних програм.

В умовах післявоєнного відновлення, розроблені моделі можуть слугувати ключовим інструментом підтримки прийняття управлінських рішень, сприяючи оптимізації алокації фінансових та технічних ресурсів, мінімізації екологічних ризиків та забезпеченню збалансованого сталого розвитку відповідних територій [38].

Кількісне моделювання гідроекологічних процесів у поверхневих водних системах базується на фундаментальному принципі масового балансу. Для аналізу

динаміки специфічного гідрохімічного параметра, такого як питома концентрація забруднюючої субстанції, узагальнене балансове співвідношення може бути представлене в спрощеній формі:

Швидкість зміни кількості речовини = Надходження – Відтік ± Внутрішні трансформації.

У диференціальному вигляді для елементарного об'єму водного середовища це рівняння набуває такого вигляду (3.2):

$$\partial(C \cdot V) / \partial t = Q_{(вх)} \cdot C_{(вх)} - Q_{(вих)} \cdot C_{(вих)} + \Sigma F_i - k \cdot C \cdot V, \quad (3.2)$$

де C — питома концентрація розчиненої речовини у воді; V — об'єм водного об'єкта; Q — об'ємна витрата водного потоку; F_i — адитивні джерела притоку (зокрема, поверхневий водозбір, дифузне забруднення, мобілізація з донних відкладів); k — кінетичний коефіцієнт, що характеризує швидкість трансформації або процеси природного самоочищення (авторемедіації).

У поствоєнний період акцентується значна увага на компонентах цього рівняння, що описують вторинну емісію забруднювачів із донних осадів, а також на динамічних коефіцієнтах природного відновлення, які функціонально залежать від термічного режиму водного середовища та стану біотичних угруповань.

Динаміка гідроекологічного стану нерозривно корелює з гідрологічними параметрами водних об'єктів. Для кількісного опису водного балансу річкового басейну використовується фундаментальне рівняння (3.3):

$$P + Q_{(пр)} = Q_{(ст)} + E \pm \Delta S, \quad (3.3)$$

де P — атмосферні опади; $Q_{(пр)}$ — сумарний притік з верхньої течії та бічних приток; $Q_{(ст)}$ — загальний стік; E — сумарне випаровування (включаючи транспірацію); ΔS — флуктуація об'ємів водних ресурсів у резервуарах та ґрунтових горизонтах.

Деградація гідротехнічної інфраструктури, спричинена мілітарними конфліктами, істотно модифікує параметри цього балансу. Це вимагає інтеграції корегуючих коефіцієнтів або сценарних сценаріїв у прогностичні моделі.

Для комплексної оцінки гідроекологічного стану активно впроваджуються індексні моделі. Узагальнений гідроекологічний індекс формалізується наступним чином, за допомогою рівняння:

$$I_{\text{гес}} = \sum(w_i \cdot I_i), \quad (3.4)$$

де I_i — нормалізовані індикатори для окремих груп показників (а саме: гідрохімічних, гідробіологічних, гідрологічних); w_i — вагові коефіцієнти, що репрезентують їхній відносний внесок та пріоритетність.

На етапі постконфліктної відбудови першочергового значення набуває детермінація спеціалізованого комплексу індикаторів мілітарного впливу на поверхневі аквальні об'єкти. До цього переліку показників належать рівні вмісту токсичних металів (зокрема, ртуті, свинцю, кадмію), нафтових вуглеводнів, залишків пестицидів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших високотоксичних органічних ксенобіотиків. Цим детермінантам у межах аналітичного моделювання надаються підвищені вагові коефіцієнти, що забезпечує точнішу оцінку їхнього деструктивного впливу на водні екосистеми та ефективніше прогнозування потенційних ризиків для гідробіоти та здоров'я людства. В умовах поствоєнного відновлення ці індикатори відіграють роль ключових маркерів екологічної безпеки, адже вони уможливають своєчасну ідентифікацію критичних осередків забруднення та обґрунтування пріоритетів для ремедіаційних заходів.

Формалізовані моделі гідроекологічних процесів в аквальних системах дозволяють здійснювати кількісну верифікацію динаміки регенерації після деструктивних антропогенних впливів, зумовлених військовими операціями. Завдяки таким моделям можливо детермінувати критичні ліміти екосистемної резистентності водних об'єктів, прогнозувати темпи їхнього природного самоочищення та верифікувати результативність різноманітних стратегій природоохоронного менеджменту. Вони дають змогу симулювати не тільки безпосередню дію токсичних контамінантів на хімізм водного середовища, а й опосередковані наслідки для гідробіонтів, донних седиментів та біогеохімічних

циклів, що робить їх фундаментальною методологічною основою для прийняття науково-обґрунтованих рішень у сфері ревіталізації водних екосистем.

Прогнозне моделювання гідроекологічної динаміки поверхневих вод у постконфліктний період становить собою багатоаспектну наукову проблему, яка вимагає синергетичної інтеграції інформації, отриманої в результаті гідрологічних, хімічних, біологічних та геоінформаційних спостережень. Подібна методологія дозволяє ефективно синтезувати різноманітні інформаційні конгломерати та здійснювати передбачення векторів регенерації водних екосистем, беручи до уваги ідіосинкразію регіональних умов та специфіку антропогенно-мілітарного впливу. У межах такого моделювання можливе застосування диверсифікованих методологічних підходів:

- Моделі матеріального балансу, котрі уможливають кількісну оцінку інфлюксу, акумуляції та трансферу контамінантів у гідросфері та донних седиментах.

- Інтегральні індексні підходи до екологічної оцінки, які консолідують множинні індикатори гідрохімічного стану та антропогенного пресингу в єдиний синтетичний показник, оптимальний для оперативного моніторингу та стратегічного прийняття рішень.

- Сценарне моделювання, що надає можливість аналізувати потенційні наслідки різноманітних стратегій менеджменту, починаючи від біоінженерних рішень та реставрації гідроморфних ландшафтів до інженерно-технічних інтервенцій для детоксикації водного середовища.

Завдяки цим методологіям стає можливим ідентифікувати ареали критичної контамінації, прогнозувати часові рамки природної деконтамінації, а також визначати пріоритетні напрямки для розробки та реалізації ремедіаційних програм. Наприклад, у регіонах, де концентрація нафтовуглеводнів перевищує гранично допустимі рівні, імплементація аераційних комплексів та біоремедіаційних методик здатна інтенсифікувати процес екологічної реставрації на порядки [39].

Імплементація сучасних формалізованих прогностичних моделей не тільки оптимізує ефективність адміністрування водними ресурсами, але й закладає міцний

методологічний фундамент для формування загальнодержавної політики регенерації гідрографічних об'єктів України. Синергія науково-обґрунтованих даних, соціально-економічних детермінант та управлінських парадигм у процесі моделювання створює передумови для розробки системи превентивного екологічного моніторингу та адаптивного управління, що, у свою чергу, забезпечує посилення резистентності екосистем та мінімізацію антропогенних ризиків для населення у постконфліктний період. Таким чином, емпірично верифіковане моделювання гідроекологічного статусу є ключовим інструментарієм інтегрованого водного менеджменту та стратегічного планування реставрації природних екосистем України.

ВИСНОВКИ

Було проведено глибоке вивчення провідних наукових парадигм та методологій щодо дефініцій понять «екологічний статус» та «екологічний ризик» аквасистем. З'ясовано, що екологічний стан водних об'єктів детермінується сукупним впливом природних і антропогенних чинників, а оцінювання екологічного ризику вимагає інтегративного підходу з використанням гідрохімічних, гідробіологічних та гідрологічних індикаторів.

Упорядковано засадничі принципи моніторингу та оцінки гідроекологічного стану поверхневих водних масивів в умовах значного антропогенного навантаження. Представлено модифіковані методики, що уможливають облік неповноти моніторингових даних, застосування дистанційного зондування та моделювання гідроекологічних процесів у складних обставинах.

Виконано всебічне дослідження гідрологічного та гідроекологічного стану водоймищ у зонах активних бойових дій та на тимчасово окупованих територіях України. Констатовано суттєве порушення природних гідросистем, підвищення рівнів концентрацій шкідливих компонентів та загрозу деструкції біотичних угруповань.

Класифіковано основні види антропогенних забруднень, що спричинені військовими конфліктами, зокрема хімічне та побутове забруднення, дисбаланс гідрологічного режиму та ерозійні процеси. Доведено їх безпосередній вплив на якість вод та функціональність водних екосистем.

Оцінено масштаби екологічної загрозовості для водної біоти та людської популяції. Виявлено високий ступінь ризику для водного середовища та суспільного здоров'я, що актуалізує потребу в оперативному контролі та розробці заходів із захисту та відновлення водних ресурсів.

Здійснено прогнозування динаміки гідроекологічного стану поверхневих водних систем у постконфліктний період. Обґрунтовано, що реабілітація екосистем вимагатиме інтегрованого управління водними ресурсами, регулювання антропогенного впливу та впровадження адаптивних моделей управління, здатних

прогнозувати трансформації у водних системах під впливом природних та соціально-економічних чинників.

У межах даного дослідження здійснено комплексний науковий аналіз впливу військових операцій на екологічний стан поверхневих водних об'єктів України та оцінено пов'язані з ними екологічні ризики. Релевантність даної проблематики диктується безпрецедентною інтенсивністю збройного конфлікту проти України, яка спричинила глибоку дестабілізацію функціонування природних комплексів, передусім водних об'єктів, що є фундаментальним елементом екологічної безпеки держави та критично важливим ресурсом для добробуту соціуму.

Перший розділ дослідження присвячений систематизації та узагальненню теоретико-методологічних засад детермінації гідроекологічного статусу та оцінки екологічного ризику поверхневих гідробіотичних систем. Було визначено, що гідроекологічний статус водних об'єктів є інтегрованим показником, детермінованим сукупним впливом фізико-хімічних, біологічних та гідроморфологічних параметрів, і репрезентує рівень збереженості природних властивостей гідроекосистем. Обґрунтовано необхідність адаптації та доповнення традиційних методик оцінювання якості води в умовах збройного конфлікту шляхом імплементації ризик-орієнтованих підходів.

На основі проведеного теоретичного аналізу було констатовано, що гідроекологічний ризик поверхневих водних об'єктів у період військових дій формується як мультифакторний феномен, що поєднує імовірність деструктивного впливу та амплітуду його потенційних наслідків для екосистем і суспільства. Виявлено, що збройні дії слугують тригером експоненціального збільшення ризиків через синергетичний вплив хімічної, органічної, механічної та гідроморфологічної контамінації, а також внаслідок масштабної руйнації водогосподарської інфраструктури.

У другому розділі здійснено всебічний аналіз актуального гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів у регіонах активних військових конфліктів та на тимчасово окупованих територіях України. На основі систематизації результатів національних і міжнародних моніторингових програм виявлено чітку тенденцію до

деградації фізико-хімічних параметрів якості водного середовища. Зокрема, зафіксовано зменшення концентрації розчиненого кисню, зростання показників хімічного споживання кисню (ХСК), а також підвищення вмісту важких металів, біогенних нутрієнтів та нафтовмісних речовин. Найбільш критичні трансформації зареєстровані у водних системах басейнів річок Дніпра, Сіверського Дінця, Інгульця та Південного Бугу, які зазнали інтенсивного антропогенного навантаження військового та техногенного походження.

Проведений аналіз біоіндикаційних показників продемонстрував суттєві структурно-функціональні дисфункції водних біоценозів. Відзначено редукцію видового різноманіття, зменшення популяційної щільності чутливих таксонів гідробіонтів та збільшення відносної частки сапробних і евтрофних видів, що є свідченням деградації екосистем та втрати ними авторегуляторної здатності. Підкреслюється, що біологічний компонент гідроекосистем виступає одним із найбільш чутливих індикаторів військового впливу, причому його трансформація носить пролонгований характер і може зберігатися навіть після припинення активних бойових операцій.

Особлива увага в дослідженні приділяється типологізації антропогенних забруднювачів, які виникли внаслідок військових конфліктів. Доведено, що ключову роль у деградації поверхневих вод відіграють поллютанти, спричинені руйнуванням об'єктів промисловості, систем очищення стічних вод, складів паливно-мастильних матеріалів, гідротехнічних конструкцій та інженерних мереж. Суттєву екологічну загрозу становлять продукти детонації вибухівки, важкі метали та високотоксичні органічні контамінанти, що здатні до біоаккумуляції в донних осадах та формування вторинних джерел забруднення.

У третьому розділі дисертаційного дослідження проведено системну оцінку екологічної небезпеки для поверхневих гідроресурсів та соціуму, а також здійснено прогностичне моделювання потенційних траєкторій трансформації гідроекологічного стану у поствоєнний період. Застосування матричних та індексних методик дозволило встановити, що для переважної більшості водних об'єктів на територіях, уражених військовими діями, характерним є підвищений

або критичний ступінь екологічного ризику. Найбільшу загрозу становлять небезпеки токсикогенного забруднення, вторинної контамінації водних мас, а також рестрикції щодо можливості використання води для споживчих та господарсько-побутових потреб.

Прогнозний аналіз демонструє, що без імплементації цільових відновлювальних та природоохоронних інтервенцій деградаційні процеси у водних екосистемах можуть персистувати протягом тривалого часового проміжку, суттєво обтяжуючи процес повоєнної реконструкції регіонів. Водночас, аргументовано, що за умови запровадження системної еколого-моніторингової діяльності, санації забруднених акваторій, ревіталізації гідротехнічної інфраструктури та використання новітніх ремедіаційних технологій, є реалістичним поступове відновлення екологічного статусу поверхневих вод.

Підсумовуючи результати дослідження, констатується, що визначена мета роботи досягнута, а всі поставлені завдання вирішено в повному обсязі. Отримані наукові результати характеризуються як теоретичною, так і прикладною цінністю, оскільки вони розширюють розуміння механізмів впливу збройних конфліктів на водні екосистеми та можуть бути використані при формуванні стратегій екологічної безпеки, розробці програм післявоєнної реконсолідації та оптимізації системи державного менеджменту водними ресурсами України.

Загалом, висновки кваліфікаційної роботи підтверджують, що збройні дії виступають одним з найбільш інтенсивних дестабілізуючих чинників для поверхневих водних екосистем, а редукція їхніх негативних наслідків вимагає застосування комплексного, науково верифікованого та пролонгованого підходу у контексті національної екологічної політики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агеєв В. М. Екологічна безпека у зонах конфлікту / В. М. Агеєв, М. Ю. Лисенко // Науковий вісник екології. – 2022. – №1. – С. 17-24.
2. Анохіна І. Л. Зміни у біосфері під час військових дій / І. Л. Анохіна // Біологія і довкілля. – 2022. – №3. – С. 101-108.
3. Барило М. П. Забруднення підземних вод у зоні військових дій / М. П. Барило, В. В. Жовтобрюх // Геологічні науки. – 2023. – №2. – С. 59-66.
4. Барна І.М. Війна та її наслідки для водних ресурсів / І.М. Барна, Л.М. Ніколайчук // Гідроекологія. – 2022. -№4. – С. 78-75.
5. Війна і довкілля: заповідники в зоні АТО [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://life.pravda.com.ua/society/2015/03/7/190398/>
6. Волинська О. В. Вплив війни на водні ресурси: приклад України / О. В. Волинська // Вісник гідроекології. – 2023. – Т. 15, №2. – С. 41-48.
7. Волков О. В. Забруднення ґрунтів та водних ресурсів під час збройних конфліктів / О. В. Волков, М. С. Зоря // Вісник екології. – 2022. - №4. – С. 37-42.
8. Воронін О. І. Забруднення довкілля через використання вибухівки / О. І. Воронін // Журнал екологічної безпеки. – 2023. – №5. – С. 28-35.
9. Вплив воєнних дії в Україні на водні ресурси та стан довкілля [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://firtka.if.ua/blog/view/vpliv-voiennikh-diyi-v-ukrayini-na-vodni-resursi-tastan-dovkillia>
10. Гаврилюк О. І. Екологічна небезпека у зонах бойових дій / О. І. Гаврилюк, Т. В. Риженко // Екологічна безпека та охорона здоров'я. – 2023. – №1. – С. 19-27.
11. Гнатюк С. Л. Вплив військових дій на якість повітря / С. Л. Гнатюк // Екологія та охорона повітря. – 2023. – №2. – С. 66-72.
12. Городецька О. П. Проблеми охорони водних ресурсів в зоні конфлікту / О. П. Городецька, С. В. Долганов // Вісник водних ресурсів. – 2022. – Т.13, №2. – С. 67-73.

13. Грищенко І. С., Кізюн А. І. Оцінка екологічного стану поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження / І. С. Грищенко, А. І. Кізюн // Екологічні науки. – 2020. – № 2. – С. 45–52.
14. Дерев'янку М. Г. Оцінка екологічного стану ґрунтів після обстрілів / М. Г. Дерев'янку // Український ґрунтознавчий журнал. – 2022. – №3. – С. 45-53.
15. Екологічні наслідки воєнних дій на території України / за ред. С. Г. Дубаса. – Львів: Центр екологічних досліджень, 2023. – 200 с.
16. Екологічні проблеми під час військових дій / за ред. Н. М. Хмельницької. – Київ : Видавництво "Екологічна думка", 2023. – 243 с.
17. Еколого-правові аспекти охорони природи в умовах війни / за ред. О.В. Іванової. – Київ: Наукова думка, 2022. – 350 с.
18. Євтушенко, О. В. Екологічні аспекти захисту природних ресурсів під час війни / О. В. Євтушенко // Вісник природоохоронного права. – 2022. – №3. – С. 54-60.
19. Захист екології в умовах війни / за ред. Л .В. Мельника. – Київ: Екологічна академія, 2023. – 298 с.
20. Звіт про оцінку екологічних збитків від військових дій на території України [Електронний ресурс] / Державна екологічна інспекція України. – 2022. Режим доступу: <https://dei.gov.ua/reports/war-impact>.
21. Іванов С. О., Кравченко П. Л. Біоіндикатори якості вод у антропогенних умовах // Журнал екологічної безпеки. – 2020. – № 4. – С. 102–115.
22. Іванова Л. М. Екологічна оцінка військового забруднення / Л. М. Іванова // Журнал екології та безпеки. – 2022. – №2. – С. 34-39.
23. Іванова О. П. Хімічне забруднення водних ресурсів у зоні бойових дій / О. П. Іванова, В. М. Чернявський // Вісник хімії довкілля. – 2023. – №1. – С. 12-18.
24. Карпенко Н. П. Екологічний моніторинг забруднення в зонах військових дій / Н. П. Карпенко // Журнал екологічного моніторингу. – 2022. – №4. – С. 38-45.
25. Корнєв П. А. Війна та її наслідки для екології України / П. А. Корнєв // Вісник наукових досліджень. – 2022. – №6. – С. 15-21.

26. Костюченко О. А. Антропогенний вплив на водні ресурси у зоні конфлікту/ О. А. Костюченко, І. В. Литовченко // Проблеми екології. – 2022. – Т.18, №3. – С. 47-52.
27. Кравець І. І. Забруднення ґрунтів важкими металами через військові дії / І. І. Кравець // Геоекологія України. – 2023. – №6. – С. 13-20.
28. Кравченко В. С. Оцінка екологічних збитків від військових дій / В. С. Кравченко // Український журнал екологічних досліджень. – 2022. – №1. – С. 12-18.
29. Кравчук Н. М. Вплив збройного конфлікту на флору і фауну / Н. М. Кравчук // Біологія України. – 2022. – №4. – С. 56-63. 67
30. Криволапчук В. Вплив військових дій на навколишнє середовище. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“. 2023. С. 270-271. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/41317/2/270-271.pdf>
31. Кузьменко А. О. Вплив військових дій на біорізноманіття / А. О. Кузьменко // Український ботанічний журнал. – 2023. – №5. – С. 12-20.
32. Мельник В. С. Забруднення ґрунтів в зоні військових дій / В. С. Мельник // Ґрунтознавство. – 2023. – №3. – С. 14-21.
33. Міжнародна комісія з охорони навколишнього середовища. Вплив війни на екосистеми України [Електронний ресурс] / Звіт Міжнародної комісії. – 2022. – Режим доступу: <https://environmental-impact.org/ukraine-report>.
34. Олійник О. В. Війна та її наслідки для флори і фауни України / О. В. Олійник // Український журнал природоохоронної діяльності. – 2023. – №2. – С. 65-71.
35. Організація Об'єднаних Націй. Наслідки війни для природного середовища України [Електронний ресурс] // Звіт ООН. – 2022. Режим доступу: <https://un.org/environment-war-report-ua>.
36. Природоохоронна діяльність у зоні військового конфлікту / за ред. І. Г. Пономаренка. – Київ : Наукова думка, 2023. – 310 с.

37. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. Київ : Обереги, 2001. 728 с.
38. Скиба І. В. Військове забруднення та відновлення природи / І. В. Скиба // Екологічні науки. – 2023. – №4. – С. 101-107.
39. Станіславенко О. Ю. Природоохоронні заходи під час військових дій / О. Ю. Станіславенко // Український журнал екології. – 2023. -№1. -С. 102-109.
40. Строкаль В. П, Бережняк Є. М., Наумовська О. І., Вагалюк Л. В., Ладика М. М., Сербенюк Г. А., Паламарчук С. П., Павлюк С. Д., Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія. – Київ, – 2023. – 222 с.
41. Тимофеев В. П. Военні конфлікти та їх вплив на екосистеми / В. П. Тимофеев // Екологічна безпека. – 2023. - №2. – С. 15-23.
42. Федоренко, С. І. Хімічне забруднення водних ресурсів під час військових дій / С. І. Федоренко // Екологічний вісник. – 2023. – №3. – С. 23-29.
43. Харитоновна Т. П. Зміни кліматичних умов у результаті збройних конфліктів / Т.П. Харитоновна//Журнал кліматичних досліджень. – 2023. – №2. – С. 35-43.
44. Хільчевський В. К. Основи гідроекології : навчальний посібник. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2018. 264 с.
45. Циганенко-Дзюбенко І., Кірейцева Г., Герасимчук О., Скиба Г., Хоменко С. Антропогенний вплив війни на водні ресурси: аналіз та потенційні шляхи відновлення // Проблеми хімії та сталого розвитку. – 2024. – № 3. – С. 51–59.
46. Шевчук С. Ф. Антропогенний вплив на навколишнє середовище у військовий час: монографія / С. Ф. Шевчук, О. І. Коваленко. – Київ: Екологія України, 2022. – 256 с.
47. Щербакова Г. В. Екологічні наслідки руйнування промислових об'єктів / Г. В. Щербакова // Індустріальна екологія. – 2023. – №3. – С. 55-61.
48. ЮНЕП. Вплив війни на навколишнє середовище: регіон України [Електронний ресурс] / Програма ООН з навколишнього середовища. – 2023. – Режим доступу: <https://unep.org/ua-war-impact>.
49. Яцик А. В. Водогосподарська екологія. Київ : Генеза, 2004. 400 с.

50. Gleick P. H. Water and conflict: Fresh water resources and international security. *International Security*. 1993. Vol. 18, No. 1. P. 79–112.

51. Johnson P. Environmental Impact of Armed Conflict: Insights from Ukraine / P. Johnson // *Journal of Environmental Science*. – 2023. – Vol. 27, No. 2. – P. 90-98.

52. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., Khilchevskyi V. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. Vol. 6. P. 579–586.

53. Top Lead. The environmental Impact of war in Ukraine [Електронний ресурс] // Top Lead Projects. – 2023. – Режим доступу: <https://www.topleadprojects.com/war-in-ua-environmental-impact-ukr>.