

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГІДРОЛОГІЇ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЇ

Галузь знань 10 – Природничі науки
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітньо-наукова програма:

Гідрологія та інтегроване управління водними ресурсами

**ОЦІНКА ДИНАМІКИ РУСЛО-ЗАПЛАВНОГО КОМПЛЕКСУ РІЧКИ
ДНІПРО В РЕЗУЛЬТАТІ ЗНИЩЕННЯ ГРЕБЛІ КАХОВСЬКОЇ ГЕС**

студент 2-го курсу магістратури
кафедри гідрології та гідроекології
Кравченко Назарій Ігорович

кандидат географічних наук
Розлач Захар Валерійович

Київ 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ВОДНИЙ РЕЖИМ РІЧКИ ДНІПРО	7
1.1 Загальна характеристика водного режиму Дніпра	7
1.2 Вплив каскаду водосховищ на водний режим	10
1.3 Особливості функціонування нижнього Дніпра в умовах зарегульованості стоку	13
1.4 Стратегічне значення Каховського гідровузла для гідрологічного режиму Дніпра та водогосподарської інфраструктури	18
Висновки до 1 розділу	22
РОЗДІЛ 2 НАСЛІДКИ ВОЄННОЇ АГРЕСІЇ РОСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ ТА ВИКЛИКАНІ НЕЮ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	24
2.1 Вплив бойових дій на водні ресурси та стан гідротехнічних споруд	24
2.2 Техногенна катастрофа на Каховській ГЕС: хронологія та масштаб руйнувань	28
2.3 Деградація систем водопостачання та зрошення півдня України ...	30
2.3.1 Механізми фізичної та біогенної руйнації магістральних каналів.	31
2.3.2 Геохімічні наслідки осушення водосховищ та деградація зрошуваних земель.....	31
2.3.3 Вплив на підземні води.	32
2.3.4 Висновки експертних груп та прогнозні моделі.....	32
Висновки до 2 розділу	33

РОЗДІЛ 3 МОРФОДИНАМІКА РУСЛО-ЗАПЛАВНОГО КОМПЛЕКСУ НИЖНЬОГО ДНІПРА	35
3.1 Методика досліджень та вихідні дані.....	35
3.2 Трансформація гідрологічного режиму після знищення греблі Каховської ГЕС	40
3.2.1 Хронологія та гідродинамічні параметри паводка.....	40
3.2.2 Трансформація режиму рівнів води.....	41
3.3. Просторово-часовий аналіз деформації русла та зміни заплавних ландшафтів.....	43
3.4 Прогноз подальшої динаміки русло-заплавного комплексу	50
Висновки розділу 3	52
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Актуальність обраної теми. Трансформація річкових систем під впливом масштабного гідротехнічного будівництва протягом XX століття докорінно змінила природні гідродинамічні, ландшафтні та екологічні цикли найбільших водних артерій світу. Проте сучасні виклики, пов'язані з повномасштабною збройною агресією Росії проти України, перевели проблему управління водними ресурсами у площину безпрецедентної екосистемної та безпекової кризи. Використання гідротехнічної інфраструктури як інструменту оборони та пряме ураження об'єктів водопостачання спричинили деградацію магістральних каналів та інфільтрацію високомінералізованих шахтних вод. Найбільшою техногенною катастрофою XXI століття в Європі став навмисний підрив греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року, що призвів до миттєвої втрати 75% об'єму водосховища, осушення понад 200 тис. га каолишнього ложа та затоплення 620 км² територій у нижньому б'єфі. Процеси некерованої динаміки, масштабний аерогенний перенос токсикантів із мулових відкладів, вторинне засолення ґрунтів та десертифікація півдня України зумовлюють гостру необхідність детального вивчення, оцінки та моделювання просторово-часової перебудови русло-заплавного комплексу нижнього Дніпра. Застосування сучасних геоінформаційних систем (ГІС) та методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в умовах обмеженого фізичного доступу до зони бойових дій є єдиним об'єктивним інструментом для верифікації цих змін, що й визначає високу актуальність та своєчасність представленого дослідження.

Метою й завданням дослідження є кількісна та якісна оцінка просторово-часової морфодинаміки русло-заплавного комплексу Нижнього Дніпра в умовах воєнної агресії та зарегульованості стоку, аналіз трансформації ландшафтної

структури заплави після руйнування Каховського гідровузла. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Оцінити вплив каскаду водосховища на гідрологічний, термічний та седиментаційний режим Дніпра;
2. Дослідити особливості функціонування суббасейну Нижнього Дніпра та стратегічну роль Каховського гідровузла до 2023 року;
3. Проаналізувати вплив бойових дій на водні ресурси та гідротехнічні споруди України;
4. Реконструювати хронологію катастрофи на Каховській ГЕС та оцінити деградацію іригаційних систем півдня;
5. Обґрунтувати методику використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для моніторингу руслових процесів;
6. Здійснити ГІС-аналіз та картографування змін берегової лінії, перерозподілу наносів і рослинної сукцесії на осушеному ложі.

Об'єктом дослідження є русло-заплавний комплекс Нижнього Дніпра, що зазнав критичної антропогенної та воєнної трансформації.

Предметом дослідження є процеси трансформації руслових і заплавних форм внаслідок катастрофи на Каховській ГЕС.

Вихідні дані та обрані методи дослідження. Інформаційну базу роботи склали нормативно-правові акти, дані 17 гідрологічних постів, архівні карти, звіти UNEP та Інститут водних проблем і меліорації. Головним масивом даних слугували матеріали супутникового моніторингу: багатоспектральні оптичні

знімки Sentinel-2 з розрізненістю 10 м та радіолокаційні дані Sentinel-1 SAR C-діапазону.

Методологічну основу роботи становлять: порівняльно-географічний та ретроспективний аналіз, геоінформаційне моделювання в ГІС, а також статистичні методи обробки гідрологічних даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у комплексному ГІС-аналізі та кількісному оцінюванні параметрів руслових деформацій Нижнього Дніпра безпосередньо під час та після ліквідації наслідків катастрофи

Практичне значення отриманих результатів можуть бути використані Держводагентством та Міндовкілля для розробки стратегій екологічного відновлення суббасейну Нижнього Дніпра. Дані про деградацію каналів та вторинне засолення ґрунтів є важливим для проектування модульних систем мікрозрошення та оцінки екологічних ризиків для прифронтових регіонів.

Структура й обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок. Робота містить 6 таблиць, 21 рисунок. Список використаних джерел включає 24 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ВОДНИЙ РЕЖИМ РІЧКИ ДНІПРО

Річка Дніпро є однією з найбільших водних артерій Східної Європи, що відіграє важливу роль у формуванні природних, соціально-економічних і культурних систем регіону. Її басейн охоплює значні території кількох держав, а сама річка характеризується складною гідрологічною структурою, різноманітними геоморфологічними особливостями та значним антропогенним впливом.

З наукової точки зору, Дніпро є об'єктом комплексних досліджень у галузях гідрології, географії, екології та природокористування. Річка виконує важливі функції водопостачання, гідроенергетики, транспорту та рекреації. Водночас інтенсивне господарське освоєння басейну, включаючи створення каскаду водосховищ, суттєво трансформувало її природний стан, вплинувши на гідродинамічні процеси, біорізноманіття та якість водних ресурсів.

1.1 Загальна характеристика водного режиму Дніпра

Дніпро посідає четверте місце серед найдовших річок Європи та третє за площею водозбору. Загальна протяжність річища становить 2285 км, з яких 981 припадає на територію України. Район басейну річки Дніпро є наймасштабніший серед дев'яти основних басейнів країни, охоплюючи майже половину її площі 48,2% або 291 400 км², візуалізовано на рис. 1.1 [1]

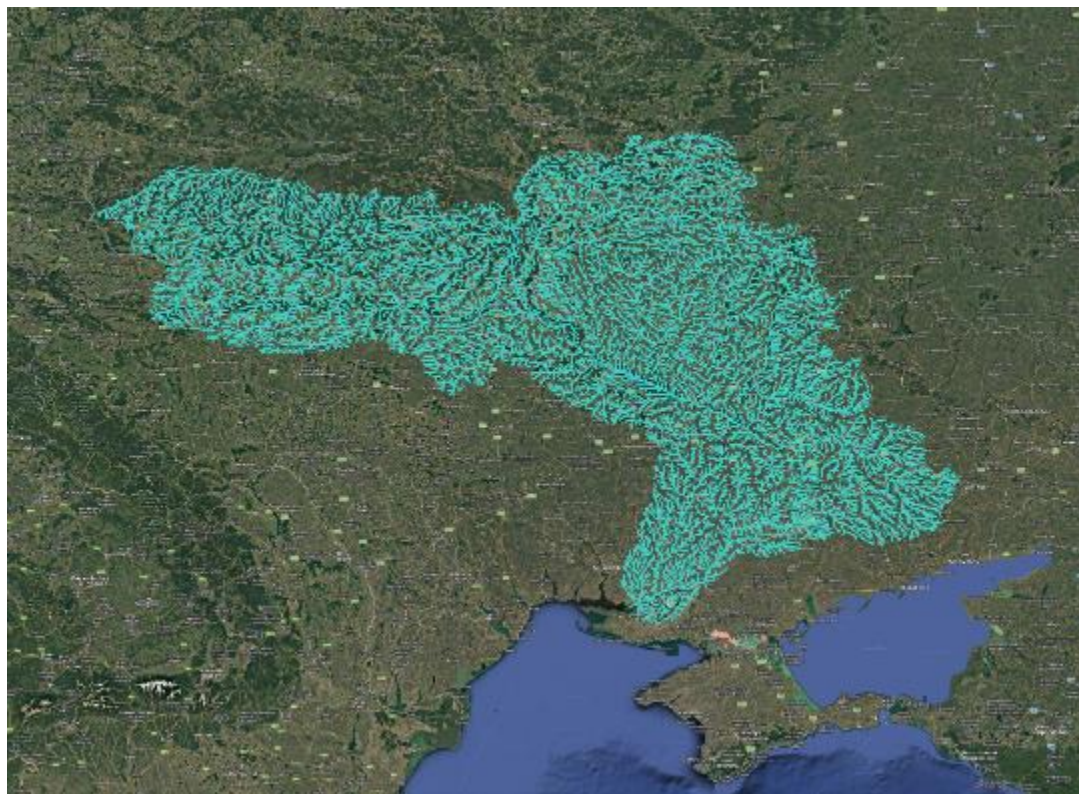


Рис. 1.1 Гідрографічна мережа басейну Дніпра в межах України

Водозбір Дніпра поширюється на 19 областей. Територіально під повним охопленням знаходяться 6 областей: Житомирська, Чернігівська, Полтавська, Дніпропетровська, Рівненська та Сумська.

Відповідно до фізико-географічних умов та факторів, що впливають річковий стік, Дніпро диференціюють на три частини: верхню - північніше Києва, середню - від Києва до Запоріжжя та нижню - від Запоріжжя до гирла. Ця класифікація значною мірою відповідає зміні природних зон - Полісся, лісостепу та степу. [2]

Згідно з наказом Міністерства екології та природних ресурсів України №103 від 3 березня 2017 року “Про затвердження Меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок” у районі басейну річки Дніпро виділяється 5 суббасейнів: Верхнього Дніпра, Середнього Дніпра,

Нижнього Дніпра, суббасейн річки Прип'ять та суббасейн річки Десна (рис.1.2) [3].



Рис. 1.2 Суббасейни річки Дніпро в межах України

Середній багаторічний стік Дніпра становить $1670-1700 \text{ м}^3/\text{с}$, що відповідає річному стоку $52-53,5 \text{ км}^3$ [4,5]. Важливим показником є модуль стоку - кількість води, що стікає з одиниці площі басейну. Для Дніпра він змінюється в межах $3-5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ [5], що свідчить про помірну водність річки.

Водний баланс Дніпра включає атмосферні опади, випаровування, поверхневий і підземний стік. Значна частина води втрачається через випаровування, особливо в південній частині басейну, що зменшує загальний стік річки. У верхній течії, де клімат більш вологий, спостерігається більша частка снігового живлення та вищий модуль стоку. У середній течії, зокрема в

районі Києва, середній стік становить близько $1391 \text{ м}^3/\text{с}$ [4] . У нижній течії випаровування традиційно зростало, проте після руйнування Каховської ГЕС загальна площа акваторії значно скоротилась - понад 2100 км^2 відкритого водного дзеркала було втраченою. Це призвело до локальної зміни структури випаровування та режиму живлення підземних вод, оскільки замість водної поверхні відкрилося ложе водосховища, що почало інтенсивно заростати рослинністю.

Дніпро належить до річок змішаного живлення з чітко вираженим домінуванням снігового стоку, частка якого у верхній частині басейну сягає 50-80% [5]. Решта водного балансу формується за рахунок дощових опадів та підземних вод. Такий розподіл визначає циклічність водного режиму, що поділяється на чотири основні фази:

Весняна повінь настає внаслідок танення снігу та забезпечує основний об'єм річного стоку. У природному стані супроводжується масштабними розливами заплави, проте зараз цей процес значною мірою регулюється каскадом водосховищ, які акумулюють надлишкову воду для використання в посушливі періоди;

Літньо-осіння межень характеризується найнижчим рівнем води та зниженням витрат до $500\text{-}700 \text{ м}^3/\text{с}$. У цей час головним джерелом є підземні води. Висока температура повітря зумовлює значні втрати на випаровування, особливо в південних суббасейнах. Короткочасні дощові паводки восени можуть спричиняти лише локальні коливання рівня;

Зимова межень являється стабільним періодом низької водності, коли річка живиться виключно підземними водами. Встановлення льодового покриву може супроводжуватися шугою та зажорами, що подекуди викликає підняття рівня води.

1.2 Вплив каскаду водосховищ на водний режим

Сучасний стан водного режиму Дніпра визначається антропогенною трансформацією, спричиненою функціонуванням каскаду гідровузлів, зведених у другій половині XX століття. Донедавна ця гідротехнічна мережа об'єднувала шість водосховищ, проте після руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 року конфігурація системи суттєво змінилася [6]. На сьогодні діючий каскад включає Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське та Дніпровське водосховища (рис. 1.3).

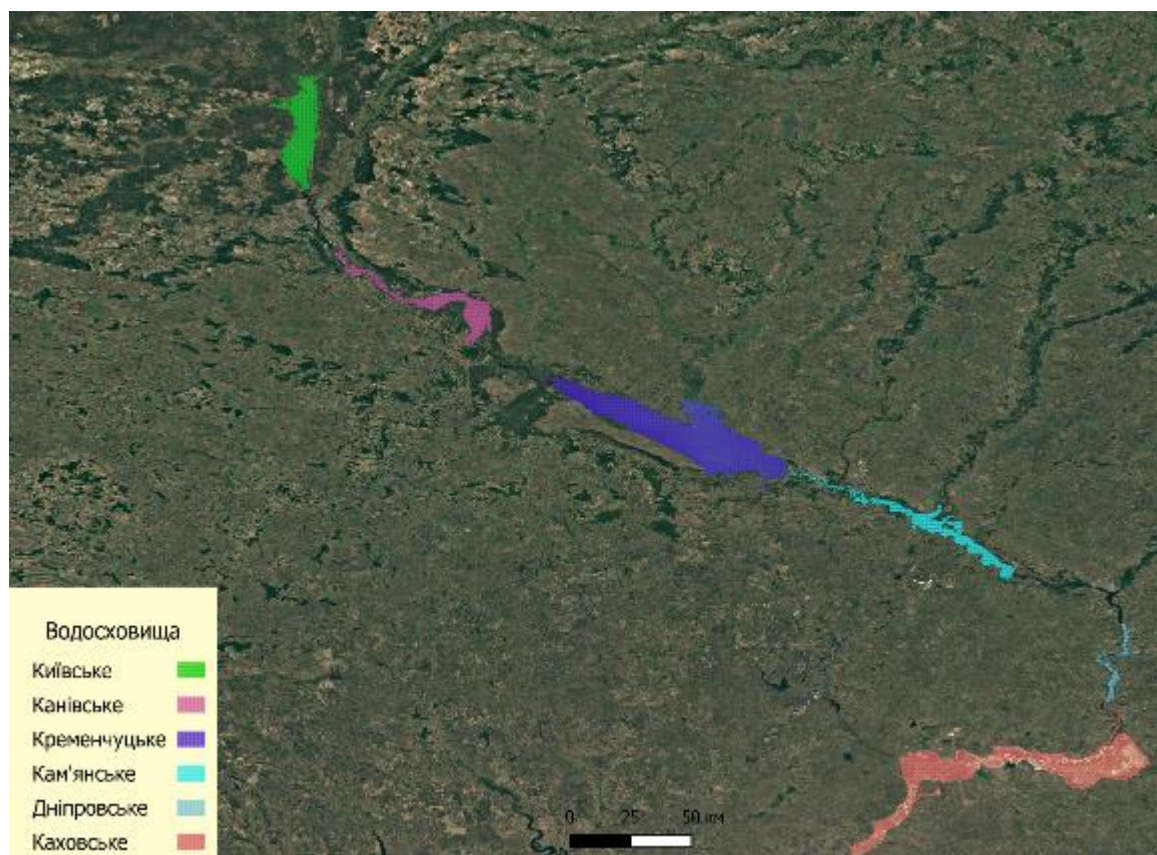


Рис. 1.3 Каскад водосховищ річки Дніпро

Одним з найбільш помітних наслідків регулювання є зниження швидкості течії. У межах акваторій водосховищ вона сповільнюється в кілька разів порівняно з природними показниками, що змінює руслову динаміку. Уповільнення стоку сприяє інтенсивній акумуляції наносів: у водосховищах затримується до 70-80% твердого стоку [7]. Це спричиняє поступове замулення

ложа водосховищ, скорочення їх корисного об'єму та виникнення дефіциту наносів нижче за течією, що зміщує річку інтенсивніше розмивати власне річище.

Водний баланс та термічний режим. Створення каскаду суттєво вплинуло на видаткову частину водного балансу. Значне розширення площі дзеркала води призвело до посилення випаровування. За наявними оцінками, річні втрати води на випаровування з поверхні водосховищ складають кілька кубічних кілометрів [4], що є відчутним показником для басейну, особливо в умовах глобального потепління. Окрім того, левова частка води має високу термічну інерцію: вона повільніше прогрівається навесні та довше охолоджується восени. Це згладжує сезонні температурні коливання та зміщує терміни формування льодового покриву, що безпосередньо впливає на екосистеми.

Гідрохімічні та екологічні наслідки. Трансформація річки у систему малопроточних водойм погіршила її здатність до самоочищення. Збільшення часу перебування води в резервуарах, сприяє накопиченню органіки та провокує процеси евтрофікації. Це призводить до дефіциту розчиненого кисню та погіршення якості води для питних і господарських потреб.[8]. Водночас було порушено природний гідрологічний зв'язок річки з її заплавами: відсутність регулярних весняних розливів призвела до висихання заплавних озер, деградації луків та втрати біорізноманіття. [9]

Каскад ГЕС дозволив досягти високої керованості водними ресурсами, забезпечивши стабільну роботу енергетики, промислового водопостачання та судноплавства. Проте ці економічні переваги супроводжуються глибокою деградацією природних функцій річки. Звичний режим Дніпра з вираженою сезонністю замінено на техногенно-регульований цикл. Спроба балансування між економічною вигодою та екологічною безпекою стала викликом після катастрофічних подій у нижній течії річки, що потребує окремого детального аналізу у контексті втрати Каховського гідровузла.

1.3 Особливості функціонування нижнього Дніпра в умовах зарегульованості стоку

Сучасна архітектура управління водними ресурсами нижньої течії Дніпра базується на парадигмі інтегрованого басейнового управління, що нормативно закріплено у Водному кодексі України [10]. Суббасейн Нижнього Дніпра, охоплюючи площу 82 625 км², що становить близько 28% загального водозбору річки в межах держави, являє собою складну гідродинамічну систему, розгорнуту в межах восьми адміністративних областей (рис 1.4) . Відповідно до чинного районування, затвердженого Наказом Міністерства екології та природних ресурсів №25 [11], ця територія диференційована на 15 водогосподарських ділянок. Серед них вузловими є масиви поверхневих вод від греблі Дніпровської ГЕС до гирлової області, включаючи Каховський гідровузол (ділянки М5.1.3.26 та М5.1.3.27). Така структуризація дозволяє протягом десятиліть підтримувати жорсткий контроль над водним балансом регіону, де головне річище протягом 440 км виступає основним реципієнтом як природного, так і техногенного навантаження [12].

води. Антропогенна трансформація Дніпра каскадом ГЕС призвела до повної реконфігурації природного гідрологічного циклу:

Середньомісячні витрати води, м³/с:

А - до будови ГЕС на Дніпрі (стік у с. Лоцманська-Кам'янка за 1881-1931, 1942-1946 рр.) [13];

Б - стік через споруди Каховської ГЕС (1956-2018рр.);

К - співвідношення зарегульованості стоку (Б) до природного (А).

Динаміка середньомісячних витрат води та порівняльний аналіз природного стоку наведені у таб. 1.1

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика середньомісячних витрати води р. Дніпро (м³/с) у природному та зарегульованому стані

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Рік
А	743	875	1490	3840	5270	2140	1050	845	742	738	866	783	1610
Б	1430	1580	1670	1740	1960	1290	866	752	733	987	1280	1430	1310
К	1,92	1,81	1,12	0,45	0,37	0,60	0,82	0,89	0,99	1,34	1,48	1,83	0,81

Згідно статистичних даних можна спостерігати перерозподіл стоку, де ключовим показником є коефіцієнт К. Значення $K > 1$ у зимовий період вказує на штучне збільшення водності для потреб енергетики, тоді як значення $K < 0,5$ у весняні місяці свідчить про акумуляцію талої води у водосховищах.

Візуалізація цих процесів на діаграмі (рис. 1.5) дозволяє чітко простежити трансформацію природного гідрографа у техногенно-регульований графік.

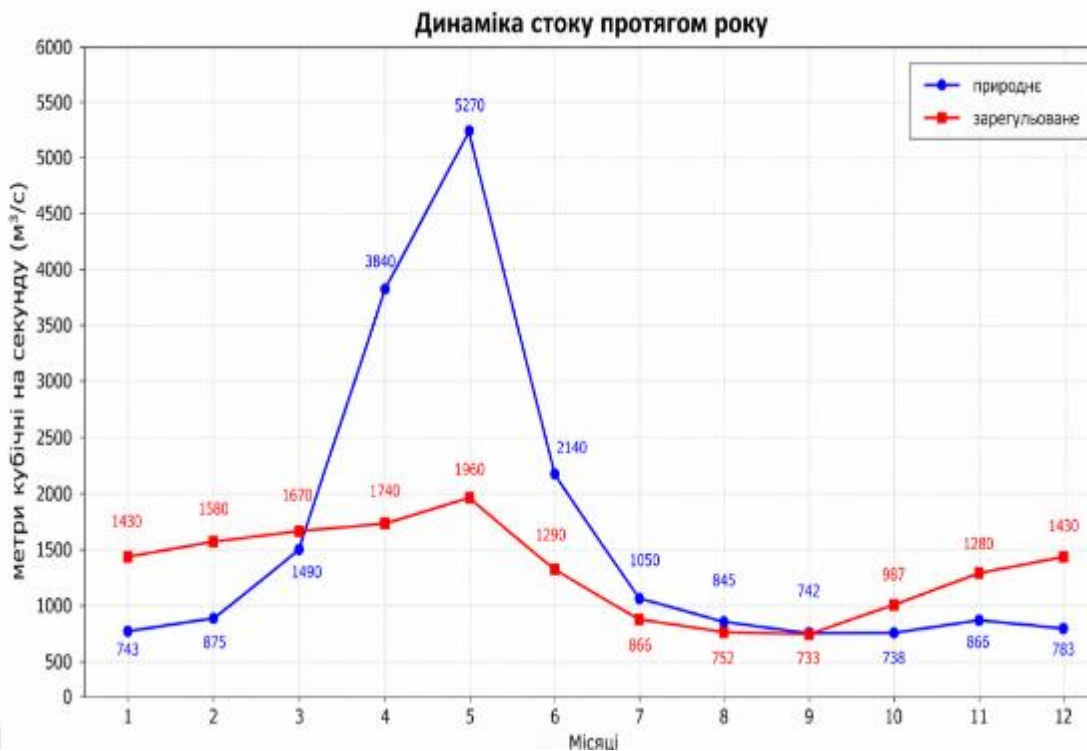


Рис. 1.5 Порівняльна динаміка природного та зарегульованого середньомісячного стоку р. Дніпра

Аналіз динаміки стоку річкової мережі суббасейну Низового Дніпра демонструє кардинальну зміну гідрологічного режиму внаслідок антропогенного впливу. Згідно діаграми, для природного русла була характерною виражена весняна повінь, пік якої припадав саме на травень. У цей період обсяг води сягав свого річного максимуму - 5270 м³/с, що було зумовлено природним таненням снігів та живлення річок у межах водогосподарських ділянок, таких як Оріль, Самара та Інгулець. Однак після створення каскаду водосховищ та впровадження штучного регулювання, щорічна тенденція докорінно змінилася. Витрати води у травні були примусово зменшені більш ніж у 2,5 рази - до 1960 м³/с. Таке значення зарегулювання стоку дозволило перерозподілити водний ресурс для потреб енергетики та сільського господарства, проте воно нівелювало природні цикли водності, згладивши

весняний пік і зробивши стік більш рівномірним, але значно менш інтенсивними у критичні весняні місяці.

Зміна швидкості та об'ємів води неминує веде до трансформації механічних процесів всередині річища, таких як рух наносів та термічний обмін. Гідравлічна структура потоку у Каховському водосховищі до 2023 року характеризувалася вкрай низькими швидкостями, в межах 0,01-0,03м/с, що фактично перетворило річкову систему на низку малопроточних водойм озерного типу. Це спровокувало процеси седиментації: водосховище виступало бар'єром, що затримував до 80% твердого стоку [14]. Акумуляція наносів спричинила замулення ложа та формування донних відкладів, що змінювали морфометрію чаші протягом 70 років експлуатації (таб 1.2) [4].

Таблиця 1.2

Динаміка основних морфометричних характеристик Каховського водосховища в процесі експлуатації

	Проектне значення	Стан на 2015-2022 рр.
Повний об'єм	18,19 км ³	17,8-18,0км ³
Корисний об'єм	6,79 км ³	6,3-6,5 км ³
Площа дзеркала при НПР	2155 км ²	2140-2150 км ²
Максимальна глибина	25 м	22-23м
Середня глибина	8,4 м	8,4 м
Товщина шару замулення	0м	0,3-1,5 м

Резюмуючи аналіз гідрологічних параметрів, слід зазначити, що оцінка екологічного статусу масивів поверхневих вод Нижнього Дніпра базувалася на

порівнянні поточного стану з референтними умовами. Оскільки антропогенна трансформація охопила весь суббасейн, еталонні значення визначилися методом ретроспективного моделювання [12]. Відповідність біологічних показників фітопланктону встановленим критеріям дозволяє охарактеризувати систему до 2023 року як стабільно-техногенну. Наявність мережі з 17 гідрологічних постів забезпечувала високу достовірність моніторингових даних. Просте, внаслідок руйнування греблі греблі, гідрологічний режим території нижче Дніпровської ГЕС прийшов у фазу некерованої динамік

1.4 Стратегічне значення Каховського гідровузла для гідрологічного режиму Дніпра та водогосподарської інфраструктури

До середини XX століття морфологія річища та заплавних територій визначалася природними гідродинамічними процесами, характерними для великих рівнинних річок степової зони. Ключовим елементом дорежимного ландшафту був масив Великого Лугу - унікальна гідрографічна мережа, що складалася з розгалуженої системи рукавів, заплавних лісів та меандрувальних потоків (рис.1.6). Гідрологічний режим цієї території базувався на щорічних високих весняних повенях, які забезпечували інтенсивний вологообмін та акумуляцію алювіальних відкладів. Картографічні матеріали першої половини XX століття дозволяють верифікувати складну структуру природного русла, яке характеризувалося високим ступенем розгалуженості та динамічністю берегової лінії.



Рис. 1.6 Фрагмент топографічної карти зони Нижнього Дніпра до створення каскаду водосховищ

Радикальна зміна геоморфологічного та гідрологічного профілю регіону відбулася внаслідок реалізації проекту каскадного регулювання Дніпра. Каховський гідровузол, введений в експлуатацію у 1956 році, став завершальною ланкою каскаду, що перетворило транзитну річкову систему на низку акумулятивних водойм озерного типу. Об'єкт було спроектовано як інтегрований гідротехнічний комплекс, призначений для забезпечення енергетичного потенціалу, підтримки судноплавних глибин та стратегічного управління водним балансом аридних територій [4,15]

Гідротехнічна споруда мала загальну протяжність фронту 3850 метрів (рис. 1.7). До складу основного вузла входили: бетонна водозливна гребля гравітаційного типу довжиною 447м, розрахована на нормативний підпірний рівень (НПР) 16,0 м у Балтійській системі висот; будівля ГЕС суміщеного типу, інтегрована в загальну лінію напору; судноплавний шлюз та комплекс земляних наливних дамб[15,16];



Рис . 1.7 Загальний вигляд бетонної водозливної греблі Каховського гідровузла

Морфометричні параметри сформованого Каховського водосховища, яке мало об'єм $18,19 \text{ км}^3$ та площу дзеркала 2155 км^2 , зумовили перехід режиму багаторічного регулювання стоку [12]. Встановлення гідростатичного напору призвело до уповільнення швидкостей течії до критичних значень - $0,01\text{-}0,03 \text{ м/с}$, що зумовило бар'єрний ефект для твердого стоку.

Техніко-гідрологічні параметри Каховського гідровузла (таб. 1.3) визначали функціонування всієї водогосподарської системи Нижнього Дніпра. Акумуляція водних мас у Каховському водосховищі дозволяє здійснювати багаторічне регулювання стоку та нівелювати нерівномірність гідравлічного режиму, зумовлений роботою вище розташованих ступенів Дніпровського каскаду, зокрема Дніпровської ГЕС.

Таблиця 1.3

Характеристики каховського гідровузла

Показник	Значення	Одиниці виміру
Довжина	270	м
Ширина	18	м
Пропуск води	2600	м ³ /с
Площа дзеркала	2155	км ²
Повний об'єм	18.2	км ³
Корисний об'єм	6.8	км ³
Максимальний напір	16.5	м
Рівень мертвого об'єму	12.7	м
Кількість гідроагрегатів	6	шт.
Встановлена потужність	334.8	МВт
Габарити шлюзу (камери)	260 x 18	м
Рік введення в експлуатацію	1956	рік

Підтримання стабільного підпірного рівня на позначці 16,0 м БС було необхідною технологічною умовою для забезпечення сталого водозабору в магістральні канали. Гідродинамічні характеристики об'єкта дозволяють підтримувати робочі горизонти води для Каховської зрошувальної системи та Північно-Кримського каналу, чії головні споруди мають фіксовані позначки порогів водозборів - 12,7м БС [17]. Робота зрошувальних систем у дорежимний період була технічно неможливою через значну амплітуду коливань рівнів води у природному річищі.

Стабільна робота гідровузла забезпечувала функціонування найбільшої в Європі іригаційної мережі, що охоплює площу понад 500 тис. га зрошувальних земель. Через головні насосні станції (ГНС) здійснювався забір води для потреб аграрного сектору, промислового водопостачання міст, зокерма Кривого Рогу через канал Дніпро-Інгулець та наповнення наливних водосховищ посушливих районів Херсонської і Запорізької областей. Обсяги річного водозбору з Каховського водосховища до моменту деструкції об'єкта становили значну

частину видаткової бази водного балансу Нижнього Дніпра, що робило ГЕС ключовою ланкою в системі регіональної екологічної та економічної безпеки

Таким чином, Каховська ГЕС функціонувала як базовий стабілізатор гідрологічного та водогосподарського балансу суббасейну. Фізична цілісність споруд гідровузла була визначальним фактором у підтриманні штучно сформованого техногенного ландшафту. Будь-яке порушення конструктивної цілісності об'єкта призводить до неконтрольованого вивільнення потенційної енергії зарезервованих мас та трансформації гідродинамічних процесів із ламінарних у турбулентні з високою руйнівною здатністю.

Висновки до 1 розділу

У ході теоретико-методологічного дослідження було детально проаналізовано гідрографічну структуру басейну річки Дніпро, який є найбільшим в Україні й охоплює 48,2% її площі, що становить 291 400 км² та об'єднує 5 суббасейнів. Встановлено, що середній багаторічний стік річки складає 1670-1700м³/с, що еквівалентно річному об'єму 52-53,5 км³. Створення каскаду водосховищ у XX столітті радикально трансформувало природний гідрограф річки, знизивши швидкість течії а акваторії до критичних значень 0,01-0,03 м/с. Це перетворило Дніпро на систему малопроточних водойм, де затримується до 70-80% твердого стоку, а коефіцієнт зарегульованості стоку коливається від штучного збільшення водності взимку для потреб енергетики до примусового зменшення у травні з 5270м³/с до 1960м³/с.

Достовірність виведених теоретичних положень підтверджується широким використанням офіційних нормативно-правових актів, таких як Водний кодекс України та Наказ Мінприроди №103, а також верифікацією розрахунків на основі довгострокових статистичних даних за ретроспектаральний період та період експлуатації гідровузлів. Додатковим

підтвердженням є узгодженість результатів із тривалими спостереженнями мережі з 17 діючих гідропостів.

Практична цінність розділу визначається тим, що ці теоретичні узагальнення та ретроспективні моделі є базою для інтегрованого басейнового управління та встановлення еталонних умов екологічного статусу масивів поверхневих вод Нижнього Дніпра.

РОЗДІЛ 2

НАСЛІДКИ ВОЄННОЇ АГРЕСІЇ РОСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ ТА ВИКЛИКАНІ НЕЮ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

2.1 Вплив бойових дій на водні ресурси та стан гідротехнічних споруд

Збройна агресія спричинила масштабну кризу водних ресурсів, яка охопила як природні річкові басейни, так і складні системи штучних каналів. У зоні активних бойових дій вода перетворилася на об'єкт постійного техногенного ураження. Гідротехнічні споруди часто використовуються як інструмент оборони, що призводить до радикальних змін у гідрологічному режимі цілих регіонів [18]. Такі трансформації потребують постійного дистанційного моніторингу.

Одним із найбільш задокументованих випадків використання води як оборонного ресурсу є підлив греблі в Козаровичах Київської області (рис.2.1). У лютому 2022 року це рішення дозволило зупинити просування техніки в напрямку столиці, але призвело до неконтрольованого розливу води з Київського водосховища в заплаву річки Ірпінь.



Рис. 2.1. Космічні знімки заповни р. Ірпін до (02.01.2022) та після (16.03.2022) підриву греблі в Козаровичах

На площі понад 2800 гектарів відбулося затоплення приватної забудови, фермерських господарств та складських приміщень [19]. Оскільки вода в заплаві залишається нерухомою до сьогодні, це спричинило масове гниття рослинності та вимивання небезпечних речовин із побутових септиків.

На території Донецької та Луганської областей ключовою проблемою є фізичне руйнування об'єктів водопостачання та супутнє забруднення річок. Найбільш критична ситуація склалася в басейні Сіверського Дінця. У березні 2022 року внаслідок бойових дій була зруйнована гребля Оскільського водосховища на Харківщині (рис.2.2). Оскільки ця водойма була головним резервуаром для регулювання рівнів води в Сіверському Донці, її спустошення призвело до обміління річки нижче за течією.



Рис. 2.2. Космічні знімки акваторії Оскільського водосховища до та після руйнування греблі в березні 2022 р.

Втрати склали приблизно 355 млн м³. Відкрите дно водосховища, яке раніше було вкрите шаром мулу з промисловими осадами, під дією вітру перетворилося на джерело пилових бур. Це не просто візуальний ефект висихання, а реальна загроза поширення важких металів, що накопичувалася на дні протягом десятиліть функціонування споруди.

Окремим фактором деградації, є неможливість очищення русел через замінування. На деокупованих територіях вздовж річок Сіверський Донець та Інгулець зафіксовані численні випадки мінування берегових ліній. Це робить технічне обслуговування гідротехнічних споруд неможливим [18]. Замулення русел призводить до того, що під час паводків вода не може проходити природним шляхом, що викликає підтоплення територій, які раніше не були в зоні ризику.

Магістральні канали, що забезпечують життєдіяльність сходу та півдня України, зазнали величезних втрат. Канал “Сіверський Донець - Донбас” (СДД) є важливою артерією для Покровська, Краматорська та Бахмутського районів. Через обстріл Часового Яру неодноразово пошкоджувалися дюкери та насосні станції. Кожен прорив на каналі - це втрата тисяч кубометрів очищеної води та

підмивання ґрунту, що в умовах наявності підземних шахтних виробіток створює ризик раптових обвалів земної поверхні. Також тривала зупинка води в бетонному ложі каналу в літній період призводить до її перегріву та розмноження токсичних водоростей, що унеможлиблює подальше використання цієї води для пиття без хімічної обробки [18].

На території Херсонської області ситуація з каналами є найбільш наочною. Після руйнування Каховської ГЕС Північно-Кримський та Каховський магістральний канали втратили джерело живлення. Це призвело до повної зупинки зрошувальних систем на площі понад 500 тис. гектарів. Без води бетонні конструкції каналів піддаються атмосферному впливу: влітку вони перегріваються і тріскаються, а взимку волога, що потрапила в тріщини, замерзає і руйнує бетон (рис. 2.3) [19].



Рис. 2.3. Супутниковий моніторинг осушених ділянок Каховського магістрального каналу та деструкції його бетонних елементів 2023–2026 рр.

Ложе каналів інтенсивно заростає чагарниками, коріння яких остаточно знищує герметичність системи [19,20]. Це означає, що навіть за умови

відновлення подачі води, канали потребуватимуть капітального будівництва практично з нуля.

Додатковим фактором хімічного отруєння водних ресурсів у промислових районах Донецької області є підтоплення шахт. Через перебої або відсутність світла насоси зупиняють відкачування води. Мінералізовані шахтні води, що містять хлориди, сульфати та залізо, піднімаються до рівня ґрунтових вод і згодом потрапляють у річкову мережу [18]. Це створює загрозу незворотного забруднення підземних джерел, які є єдиною альтернативою для населення в умовах зруйнованих централізованих водогонів.

2.2 Техногенна катастрофа на Каховській ГЕС: хронологія та масштаб руйнувань

Руйнування греблі Каховської ГЕС, що відбулося 6 червня 2023 року, стало наймасштабнішою техногенною катастрофою на європейському континенті у XXI столітті (рис. 2.4). Ця подія призвела до миттєвої дестабілізації екосистеми всього Нижнього Дніпра та спричинила ланцюгову реакцію наслідків, які охопили соціальну, економічну та екологічну сфери [6].



Рис. 2.4. Космічний знімок зруйнованого створу та відірваної частини греблі Каховської ГЕС (червень 2023 р.)

Подальший аналіз причин руйнування ГЕС свідчить про високу ймовірність внутрішнього вибухового впливу на конструктивні елементи гідровузла. Зокрема характер пошкоджень, масштаб деформації та швидкість руйнування греблі вказують на втрату стійкості несучих конструкцій внаслідок детонації вибухових речовин, розміщених у внутрішніх порожнинах споруди, ймовірно в зоні машинного залу або водоскидних шлюзів. Згідно з даними сейсмічного моніторингу, підрив стався о 02:50. Виділяється три етапи, кожен з яких мав свій вплив на довкілля. Під час першої фази, що тривала з 03:30 до 08:00 ранку, розпочався неконтрольований скид води, який швидко затопив прибережні зони Нової Каховки. Друга фаза охоплює період з 6 по 8 червня і стала часом максимальної інтенсивності паводка. Саме тоді хвиля досягла Херсона, а рівень води в районі гідропосту піднявся до історичного максимуму -

5,33 метра [6]. Третя фаза тривала до 20 червня і характеризувалася поступовим відходом води нижче греблі на фоні обміління водосховища [20].

До моменту аварії Каховське водосховище було заповнене до позначки 18,1 метра, що відповідало об'єму 18,2 км³ [19]. Внаслідок руйнування було втрачено 75% цієї маси. Потужний потік не лише змінив рівень річки, а й підняв мільйони тонн донних відкладень, змінивши хімічний склад води. Коли рівень у водосховищі впав нижче критичної позначки 12,7 метра, робота промислових водозаборів та систем зрошення стала технічно неможливою [19].

Масштаби територіальних втрат підтверджується космічними знімками. У нижньому б'єфі загальна площа затоплення склала близько 620 км² [6]. Більша частина цієї території припадає на низинний лівий берег, де постраждали 80 населених пунктів та заповідні зони Нижньодніпровського національного парку. Водночас у верхньому б'єфі відбулося осушення понад 200 тис. га колишнього дна. Ця територія десятиліттями була під водою, стала джерелом пилу, оскільки мулові відкладення почали пересихати та розноситись вітром.

Катастрофа спричинила низку негативних наслідків, які мають довгостроковий характер. Перш за все, відбувалася деградація зрошувального землеробства через припинення роботи каналів, що вивело з експлуатації 584 тис. га земель [3]. Зникнення великої маси води також вплинуло на мікроклімат, оскільки зниження вологості повітря може посилювати засухи в літній період [2]. Крім того, виникли серйозні виклики для атомної енергетики, адже Запорізька АЕС втратила стабільне джерело підживлення систем охолодження. Важливим наслідком став і винос маси прісної води та сміття у Чорне море, що спричинило загибель морських організмів у береговій зоні [6].

2.3 Дегградація систем водопостачання та зрошення півдня України

Процеси деградації гідротехнічної інфраструктури півдня України в умовах повномасштабної збройної агресії набули ознак незворотної техногенно-екологічної трансформації. Складна система магістральних каналів,

водосховищ та локальних мереж зрошення, яка десятиліттями формувала антропогенний ландшафт степової зони, опинилася у стані глибокої функціональної кризи. Науковий аналіз поточної ситуації дозволяє виділити три ключові вектори деградації: фізико-механічний знос споруд, біогенну деструкцію та геохімічну трансформацію водних ресурсів [6,19].

2.3.1 Механізми фізичної та біогенної руйнації магістральних каналів.

Припинення експлуатаційного наповнення Каховського та Північно-Кримського магістральних каналів після руйнування греблі Каховської ГЕС спровокувало каскад деструктивних процесів у бетонних конструкціях лож. Гідротехнічний бетон, розрахований на постійний контакт із водною масою, в умовах осушення піддається інтенсивному атмосферному вивітрюванню. Першочерговим деструктивним фактором є термічна деформація. За відсутності води, яка виконує роль теплового буфера, бетонні плити зазнають екстремальних добових та сезонних коливань температур. Це призводить до виникнення значних внутрішніх напружень, що реалізуються через мережу мікро та макротріщин. У зимовий період процеси кріогенного розклинювання, остаточно руйнують структуру цілісності моноліту.

Окремої уваги заслуговує біогенна деградація. Осушені ділянки каналів стають об'єктом інтенсивної сукцесії деревно-чагарникової рослинності. Розвиток кореневих систем чагарників призводить до механічного розсування бетонних плит та руйнації підстилаючих гідроізоляційних шарів. На думку експертів, після 3-4 років перебування в такому стані, герметичність системи витрачається на 80-90%, що робить подальше відновлення водопостачання неможливим без проведення капітальної реконструкції з повною заміною облицювання [3,4].

2.3.2 Геохімічні наслідки осушення водосховищ та деградація зрошуваних земель.

Найбільш масштабним актом деградації стало миттєве зникнення

Каховського водосховища. Це спричинило не лише втрату 18,2 км³ прісної води, а й оголення понад 200 гектарів дзеркала водойми, яка протягом 70 років слугувала акумулятором промислових та аграрних відкладень. Можна виділити процеси хімічної деградації:

1. Аерогенний перенос токсикантів. Мулові відкладення, що містять важкі метали - Pb, Cd, Cu, Zn, та залишкові пестициди, внаслідок дегідратації перетворюються на дрібнодисперсний пил. Еолові процеси сприяють розносу цих речовин на прилеглі сільськогосподарські угіддя, що викликають вторинне хімічне забруднення ґрунтів [6].

2. Деградація меліоративного стану. Зупинка зрошення на площі понад 584 тис. га [19] запускає процеси деградації структури ґрунту. Без регулярного промивного режиму в умовах високого випаровування активізується капілярний підйом мінералізованих ґрунтових вод, що веде до вторинного засолення родючих шарів.

2.3.3 Вплив на підземні води.

У районах із високою концентрацією промислових об'єктів, як Донецький та Криворізький басейни, деградація системи водовідведення загрожує незворотним отруєнням підземних вод. Через припинення електропостачання та руйнування насосного обладнання відбувається неконтрольований підйом шахтних вод. Ці води характеризуються високим рівнем мінералізації: до 10-12 г/дм³, та вмістом сульфатів, заліза та марганцю [18].

Інфільтрація цих сполук у поверхневі води фактично виводить із ладу єдине альтернативне джерело водопостачання для населення деокупованих та прифронтових територій. Експертні оцінки вказують на те, що самоочищення таких горизонтів у природних умовах може тривати десятиліттями.

2.3.4 Висновки експертних груп та прогнозні моделі.

Аналітичні звіти UNEP та українських науково-дослідних інститутів, зокрема Інституту водних проблем і меліорації, констатують, що південь України перебуває на порозі десертифікації. Зникнення великих водних об'єктів знижує середню вологість повітря в регіоні на 10-12%, що в поєднанні з

глобальними кліматичними змінами посилює інтенсивність посух.

Експерти наголошують на необхідності перегляду стратегії відновлення: замість копіювання радянських енергозатратних систем закритого типу, пропонується перехід до гнучких модульних систем мікро зрошення з акцентом на збереження підземних аквіферів. 6,21].

Висновки до 2 розділу

Аналітичне дослідження дозволило комплексно оцінити масштабну деградацію водної інфраструктури України внаслідок воєнних дій та задокументувати численні факти техногенного ураження гідровузла. Зокрема, встановлено екологічні наслідки підтоплення 2800 га заплави річки Ірпінь через підриг греблі в Козаровичах, втрату 355 млн м³ води Оскільського водосховища, а також руйнацію каналу “Сіверський Донець - Донбас”. На основі зібраних даних визначено параметри катастрофи на Каховській ГЕС 6 червня 2023 року, яка призвела до втрати 75% об’єму водосховища, що дорівнює 18,2 км² води, затоплення 620 км² територій у нижньому б’єфі та осушення понад 200 тис. га колишнього дна. Зупинка живлення Північно-Кримського та Каховського каналів вивела з експлуатації 584 тис. га зрошувальних земель, запустила процеси вторинного засолення ґрунтів та спровокувала підйом високомінералізованих шахтних вод до рівня 10-12 г/дм³ у промислових районах.

Проаналізовані матеріали дають уявлення про специфіку руйнівних механізмів фізико-математичного та біогенного зносу залізобетонних лож магістральних каналів в умовах їх повного осушення. Обґрунтовано, що за відсутності води як термічного буфера плити зазнають температурного розклинювання, а за 3-4 роки перебування в такому стані втрачають герметичність на 80-90% через заростання чагарниками.

Практична цінність результатів аналізу полягає у формуванні об’єктивного підґрунтя для перегляду стратегії відновлення півдня України. Висновки міжнародних та вітчизняних експертних груп доводять неможливість

копіювання старих радянських іригаційних систем і обґрунтовують практичну потребу переходу до гнучких модульних систем мікрозрошення для запобігання десертифікації регіону.

РОЗДІЛ 3

МОРФОДИНАМІКА РУСЛО-ЗАПЛАВНОГО КОМПЛЕКСУ НИЖНЬОГО ДНІПРА

Екосистемна катастрофа, викликана руйнуванням греблі Каховської ГЕС, зумовила запуск масштабних і тривалих процесів перебудови русло-заплавного комплексу Нижнього Дніпра. Раптовий спуск водосховища та проходження паводка повністю трансформували гідродинамічні умови, що спричинило інтенсифікацію руслових деформацій, перерозподіл наносів та докорінну зміну заплавних ландшафтів. Дослідження цих процесів у реальному часі потребує залучення сучасних геоінформаційних методів та інтеграції різноманітних вихідних даних. Метою цього розділу є кількісна та якісна оцінка просторово-часової динаміки русла Нижнього Дніпра, аналіз трансформації ландшафтно-структури заплави та розробка прогностичних моделей її подальшого розвитку.

3.1 Методика досліджень та вихідні дані

Наукове обґрунтування та достовірність результатів дослідження морфодинамічних процесів Нижнього Дніпра базуються на комплексному поєднанні методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційного моделювання (ГІС) та порівняльно-географічному аналізу. З огляду на специфіку об'єкта дослідження та обмежений доступ до території в зоні ведення бойових дій, ключовим інструментом збору первинної інформації став супутниковий моніторинг.

Вихідні дані та джерела інформації

Для проведення ретроспективного та оперативного моніторингу русло-заплавного комплексу було сформовано масив багатоспектральних космічних знімків. Основними джерелами послуговували:

1. Дані угруповання супутників Sentinel-2. Використовувалися оптичні знімки з просторовою розрізненістю 10 метрів для видимих (RGB) та ближнього

інфрачервоного (NIR) каналів. Періодичність знімання до 5 діб дозволяє забезпечити високу дискретність спостережень у критичні фази катастрофи та під час подальшої сукцесії рослинності.

2. Радіолокаційні дані супутника Sentinel-1. Використання радарних знімків (SAR) С-діапазону було зумовлене їхньою незалежністю від умов хмарності. Це виявилось важливим для точної фіксації контурів затоплення у перші дні після підриву греблі [6].

Для структурування використаних матеріалів ДЗЗ та їхніх технічних характеристик було використано базу вихідних даних (таб.3.1)

Таблиця 3.1

Специфікація та технічні характеристики використання ДЗЗ

Супутникова платформа	Тип даних / Канали	Розрізненість, м	Дискретність	Цільове використання в дослідженні
Sentinel-2 (MSI)	Оптичні: B02, B03, B04, B08, B11	10 - 20	5 діб	Розрахунок індексів MNDWI, NDVI; аналіз ландшафтів
Sentinel-1 (SAR)	Радіолокаційні: С-діапазон (VV+VH)	20	6 - 12 діб	Фіксація меж затоплення при суцільній хмарності
Landsat 4-5 (TM)	Історичні архівні знімки	30	Ретро-спективний аналіз	Оцінка природного (дорегульованого) стану русла Дніпра

3. Історичні, картографічні та топографічні карти застосовувалися для ретроспективного аналізу стану русла Дніпра до моменту спорудження Каховського водосховища з метою порівняння сучасних руслових процесів із природним станом річки.

4. Гідрологічні дані. Офіційні відомості Державного агентства водних ресурсів України та Укргідрометцентру щодо рівнів води, витрат та об'ємів стоку у створах вище та нижче зруйнованої ГЕС.

Програмне забезпечення та ГІС-інструментарій.

Геопросторова прив'язка, обробка та аналіз супутникових даних виконувалися у середовищі геоінформаційної системи з відкритим кодом QGIS версії 3.34. Для авторизації розрахунків великих масивів даних ДЗЗ та побудови часових рядів залучалася хмарна платформа Google Earth Engine.

Етапи та методи обробки просторових даних.

Процес дослідження реалізовувався за стандартною науковою процедурою, що включала такі послідовні етапи:

Попередня обробка. Космічні знімки піддавалися процедурам атмосферної корекції та геометричного калібрування.

Спектральний аналіз та індексація. Для чіткого розмежування водних поверхонь, оголеного дна та рослинного покриву застосовувався метод розрахунку спектральних індексів.

Модифікований нормалізований диференційний водний індекс (MNDWI):

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Використання каналу короткохвильового інфрачервоного випромінювання (SWIR) дозволив мінімізувати вплив міського шуму та рослинності, забезпечуючи точне виділення водного дзеркала та зон підтоплення.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Застосовувався для моніторингу процесів заростання осушеного дна водосховища та заплавних ділянок лучною рослинністю.

Для фізико-оптичне обґрунтування застосування цих індексів було побудовано криві спектральної відбивної здатності основних типів поверхонь(рис 3.1)

З метою практичної перевірки та візуалізації теоретичних розрахунків, у межах дослідження на базі хмарної платформи Copernicus Browser було сформовано та проаналізовано три варіанти синтезу спектральних каналів для однієї й тієї ж тестової ділянки русла Нижнього Дніпра.

Комплексне зіставлення теоретичних спектральних характеристик та результатів практичного синтезу супутникових каналів Sentinel-2 наведено на рисунку 3.1-3.4

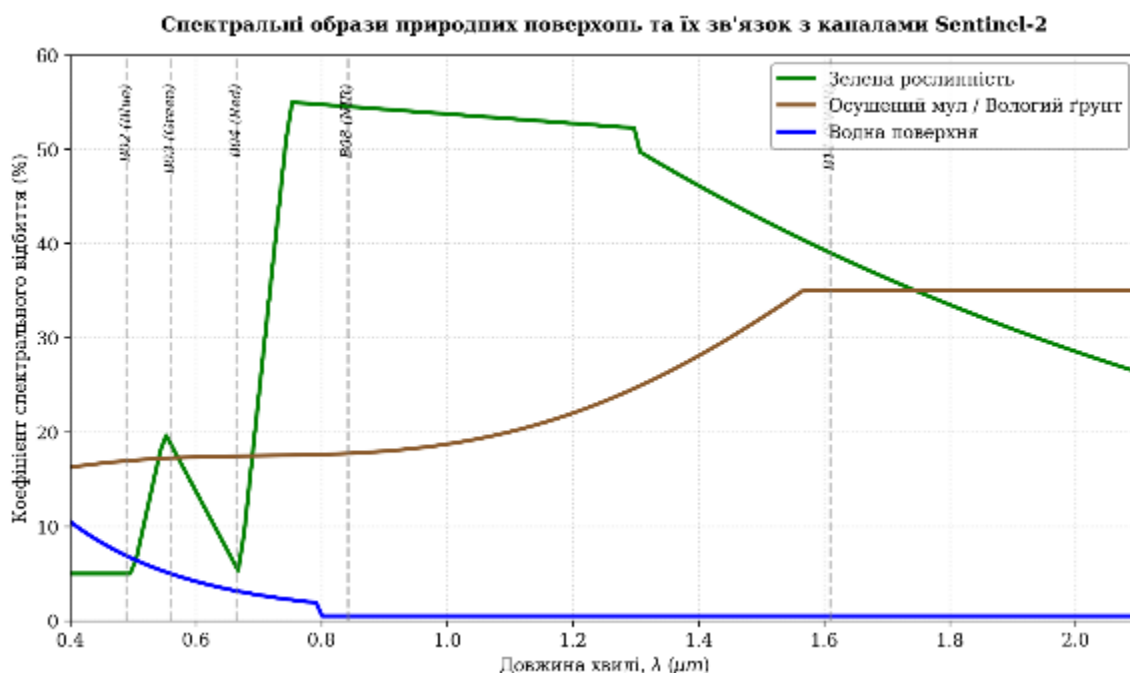


Рисунок 3.1 Спектральні характеристики відбивної здатності природних поверхонь

Перший варіант - синтез у природних кольорах (True Color, RGB: 4-3-2): відображає зону дослідження у видимому діапазоні, наближеному до людського сприйняття (рис.3.2) . Другий варіант - інфрачервоний синтез (False

Color, RGB: 8-4-3): базується на каналах ближнього інфрачервоного спектра є ключовим для оцінки стану та меж поширення живої рослинності, яка забарвлюється у контрастні червоні відтінки (рис.3.3). Третій варіант-короткохвильовий інфрачервоний синтез (SWIR, RGB: 11-8-4) - завдяки високій чутливості до вмісту води у ґрунтах та наносах, дозволяє чітко диференціювати відкриті водні поверхні від зон сильного зволоження (рис. 3.4).

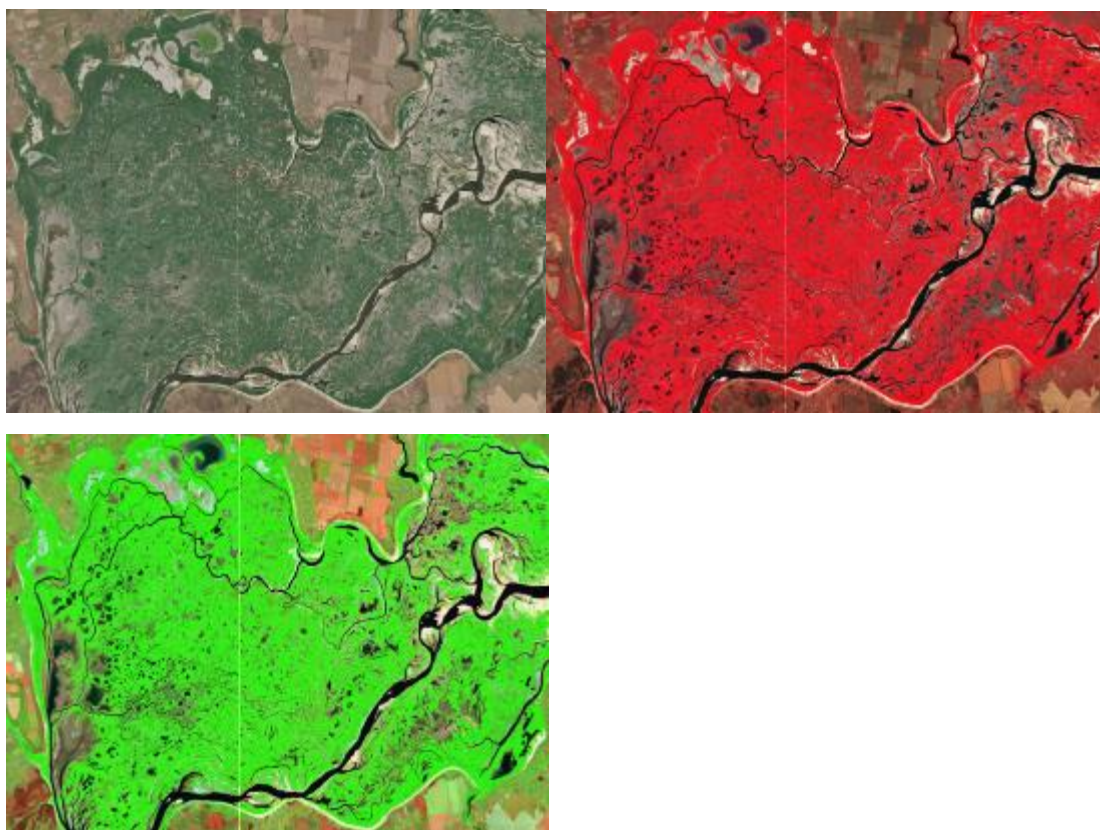


Рис. 3.2-3.4 Варіанти композицій каналів супутника Sentinel-2 для тестової ділянки русла Нижнього Дніпра в Copernicus Browser. 3.2- природні кольори, 3.3 - інфрачервоний синтез , 3.4 - короткохвильовий інфрачервоний синтез

3.2 Трансформація гідрологічного режиму після знищення греблі Каховської ГЕС

Гідрологічний режим Нижнього Дніпра впродовж 70 років був повністю зарегульованим. Коливання рівнів води та об'єму стоку визначалися графіками скидів через водозливну греблю та будівлю ГЕС, що нівелювало природну пульсацію стоку та трансформувало весняні водопілля. Одномоментне руйнування конструкцій Каховської ГЕС 6 червня 2023 року призвело до безпрецедентної в історії Європи гідрологічної катастрофи, яка миттєво ліквідувала режим штучного регулювання та запустила неконтрольовані гідродинамічні процеси у нижньому б'єфі річки.

3.2.1 Хронологія та гідродинамічні параметри паводка.

Спуск Каховського водосховища, корисний об'єм якого становив $6,8 \text{ км}^3$ (за загального об'єму $18,19 \text{ км}^3$), відбувся у формі стрімкого нерегульованого пропуску (техногенного паводка). Процес спорожнення котловини водосховища тривав близько 8–10 діб, протягом яких гідрологічний режим Нижнього Дніпра зазнав кількох послідовних фаз:

Фаза ініціації та формування піку повені (6–8 червня 2023 р.): Внаслідок значного градієнта висот між верхнім і нижнім б'єфами (початковий напір становив близько 16 м) сформувалася потужна хвиля прориву.

Максимальна витрата води у створі зруйнованої греблі в перші години, за оцінками гідрологічного моделювання Укргідрометцентру, досягала критичних значень — від 30 000 до 40 000 $\text{м}^3/\text{с}$, що у 4–5 разів перевищувало параметри найвищих природних весняних водопіль, зафіксованих за весь період спостережень[21].

Фаза максимального затоплення (8–10 червня 2023 р.): Хвиля прориву, просуваючись вниз за течією руслом та широкою заплавою, зумовила катастрофічні підйоми рівнів води. Швидкість підйому води у першу добу в районі м. Херсон перевищувала 15–20 $\text{см}/\text{год}$. Пік техногенного паводка у пониззі Дніпра було зафіксовано 8 червня.

Фаза спаду та стабілізації (11–20 червня 2023 р.): Після вичерпання основного об'єму водосховища та вирівнювання рівнів води у колишній акваторії, приплив води у нижній б'єф стрімко зменшився, що зумовило поступове звільнення затоплених заплавлених територій та відступ води до корінних берегів.

Параметри зміни рівнів води на ключових гідрологічних постах Нижнього Дніпра під час проходження катастрофічного паводка зафіксовані у базі даних моніторингу та систематизовані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри зміни рівнів води на гідрологічних постах Нижнього Дніпра

Гідрологічний пост	Відстань від ГЕС, км	Середній рівень, м	Піковий рівень, м	Перевищення над нормою, м	Дата / час піку
Нова Каховка	2	1.2	11.4	+10.2	06.06, 16:00
Нова Кубань	34	0.8	7.3	+6.5	07.06, 04:00
Херсон	76	0.3	5.68	+5.38	08.06, 03:00
Гола Пристань	92	0.2	4.2	+4.0	08.06, 11:00

3.2.2 Трансформація режиму рівнів води.

Після завершення активної фази паводка (друга половина червня 2023 р.) гідрологічний режим Нижнього Дніпра перейшов у принципово новий стан, який характеризується повною деградацією колишньої підпірної зони. Річка фактично повернулася до свого історичного, природного руслового стану, який існував до моменту спорудження Каховської ГЕС.

Основні зміни рівневого режиму на сучасному етапі (2023–2026 рр.) полягають у наступному:

1. Амплітуда коливань: Зникнення добового регулювання ГЕС (яке раніше викликало коливання рівня води в межах 0.5–1.0м протягом доби через роботу гідроагрегатів у пікові години навантаження) стабілізувало добовий хід рівнів. Натомість режим став повністю залежним від природного припливу води з вище розташованих Кременчуцького та Канівського гідровузлів.

2. Вплив нагонів: У нижній пригірловій частині (разом із дельтою Дніпра) знову посилюється вплив вітрових нагонів з боку Дніпро-Бузького лиману. За відсутності постійного санітарного попуску з Каховського водосховища, сильні південні та західні вітри здатні піднімати рівень води у херсонських протоках на 0.8–1.2 м, викликаючи зворотну течію річки.

3. Гідродинамічний ухил русла: Різке зниження базису ерозії (рівня води у створі Каховської греблі) збільшило поздовжній ухил річки на ділянці колишнього підпору. Це спровокувало зростання швидкостей течії у меженні періоди з 0.2–0.3 м/с (за умов функціонування водосховища) до 0.8–1.1м/с у сучасному русловому потоці.

Побудований хронограф зміни рівнів води на гідрологічному посту м. Херсон (рис. 3.5) наочно демонструє динаміку проходження та згасання техногенного паводка. На графіку чітко виділяється аномально стрімка фаза підйому водної поверхні одразу після руйнування греблі 6 червня, яка досягла свого історичного піку (5,68 м) вже 8 червня. Подальша крива спаду показує, що основний об'єм проривної хвилі здренував заплавно-русловим комплексом Нижнього Дніпра за 10–12 діб. Порівняння з лінією середніх багаторічних значень наочно ілюструє масштаби відхилення від колишньої норми та фіксує перехід річки до нового, значно нижчого меженного рівня внаслідок повної деградації підпірної зони водосховища.

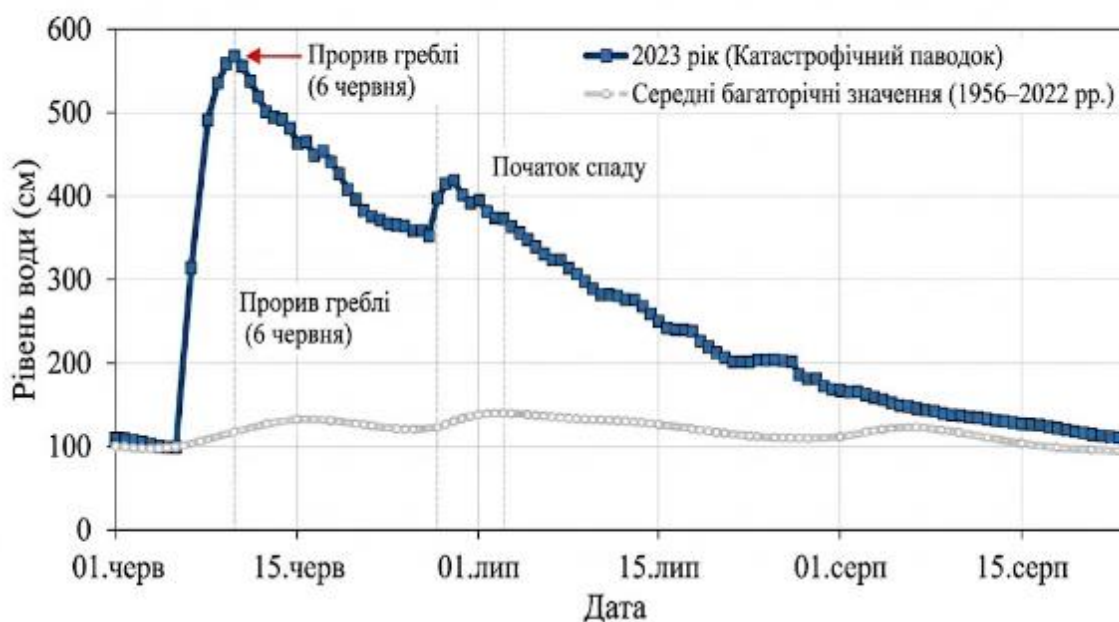


Рис. 3.5. Хронограф зміни рівнів води на гідрологічному посту м. Херсон (червень–серпень 2023 р.) порівняно із середніми багаторічними значеннями зарегульованого періоду.

3.3. Просторово-часовий аналіз деформації русла та зміни заплавних ландшафтів

Комплексна трансформація геосистем Нижнього Дніпра після руйнування греблі Каховської ГЕС має чітко виражений трифазний просторово-часовий характер. Для фіксації меж акваторії та моніторингу сукцесійних процесів формування нової рослинності нами було обрано три репрезентативні часові зрізи, що відображають ключові етапи перебудови ландшафтів: травень 2023 року (вихідний повністю зарегульований стан), вересень 2023 року (пік літньо-осінньої межени першого року після катастрофи) та травень 2026 року (сучасний стан відносної стабілізації та активного біогенного освоєння).

Аналіз серій космічних знімків *Sentinel-2*, оброблених у геоінформаційній системі QGIS із застосуванням модифікованого нормалізованого різницевого

водного індексу (MNDWI), дозволив детально реконструювати етапи деформації русла річки та деградації дзеркала водосховища:

Фаза 1. Повний підпір (травень 2023 р.): Базовий період. Загальна площа дзеркала Каховського водосховища становила 2155 км². Акваторія у межах досліджуваного району являла собою монолітне водне тіло з мінімальною площею відкритих мілин та фіксованими контурами берегової лінії (рис.3.6).

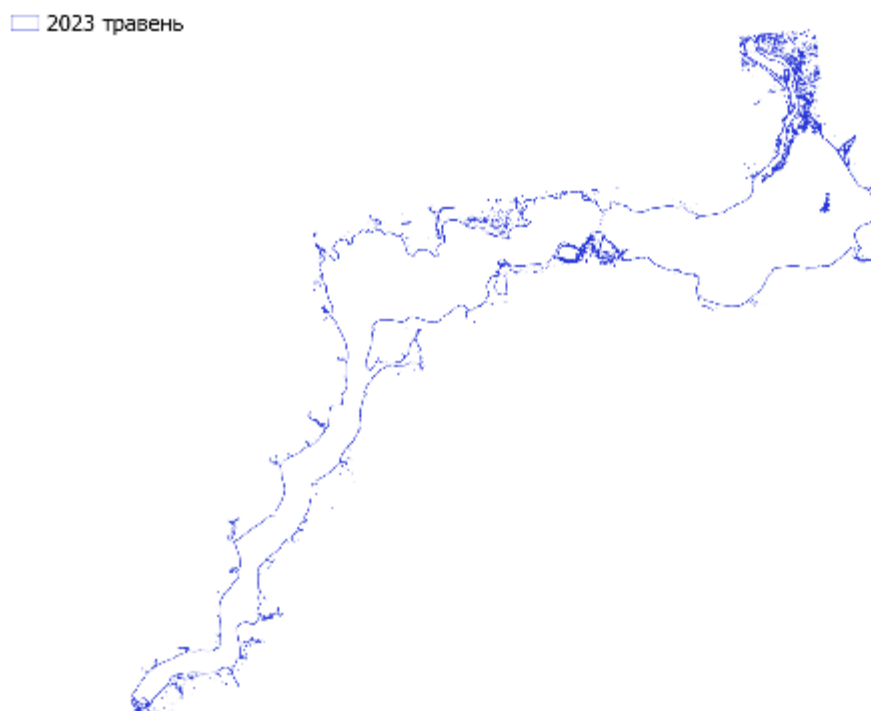


Рис. 3.6. Контури акваторії та стан заплавної геосистем Нижнього Дніпра у фазі повного підпору (травень 2023 р.).

Фаза 2. Максимальне осушення (Вересень 2023 р.): Найбільш критичний період першого року катастрофи. За даними дешифрування НАН України, сумарна площа всіх залишкових ізольованих водойм та історичного русла річки Дніпро скоротилася до 193,82 км², що склало всього 9% від початкової акваторії (рис. 3.7) [20]. Понад 90% колишнього ложа перетворилося на суцільний екотоп оголеного мулового субстрату.

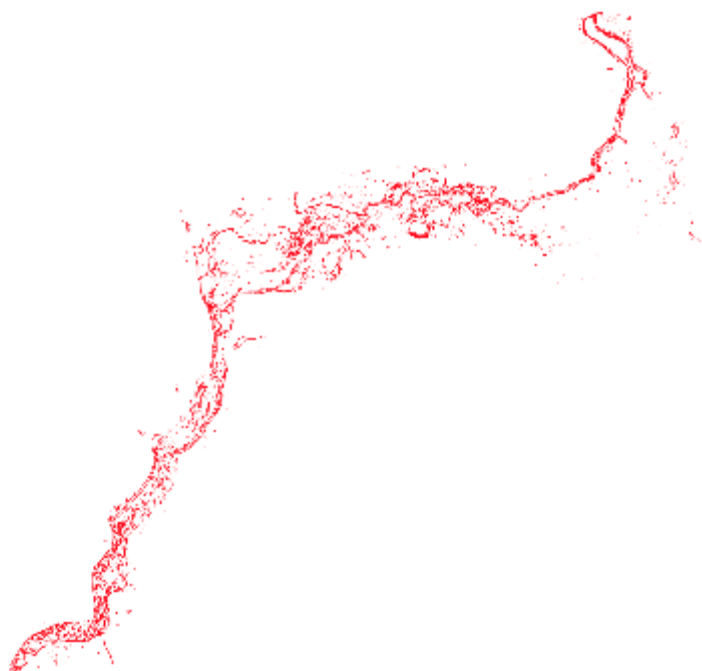
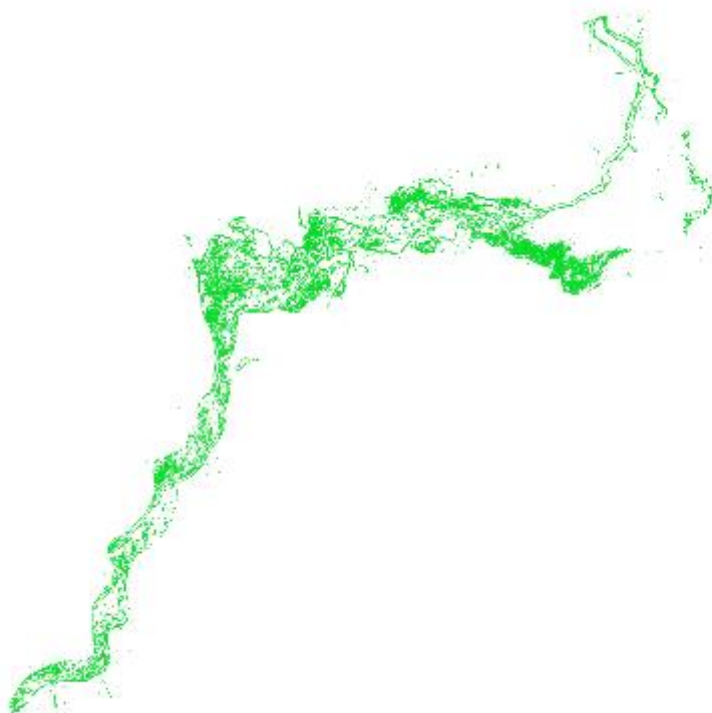


Рисунок 3.7. Ділянка русла Нижнього Дніпра після знищення Каховської ГЕС у період літньо-осінньої межені (вересень 2023 р.).

Фаза 3. Русловий режим та стабілізація (Травень 2026 р.)(рис.3.8): Поточний стан. Внаслідок природного весняного водопілля та пропусків води з вище розташованих водосховищ Дніпровського каскаду, межі акваторії частково розширилися та стабілізувалися. На сучасному етапі Нижній Дніпро сформував меандруюче русло з мережею проток та стійких заплавних озер, що займають близько 35–40% від початкової площі, тоді як решта території остаточно перейшла в суходільну категорію.



**Рисунок 3.8. Сучасний стан ділянки русла Нижнього Дніпра
(травень 2026)**

Таблиця 3.3

**Динаміка площ морфологічних елементів ландшафту Нижнього
Дніпра (2023–2026 рр.)**

Елемент геосистеми	Площа (05.2023 р.), кв. км	Площа (09.2023), кв. км	Площа (05.2026), кв. км
Відкрите водне дзеркало	2151,0	189,0	342,0
Осушені мулові відкладення	0	1962,0	209,0
Рослинність	0	0	1600,0

Просторово-часова динаміка Великого Лугу, зафіксована за період від вересня 2023 року до травня 2026 року, відображає активний процес морфологічної стабілізації річкового ложа. Накладення контурів акваторії (рис. 3.9) наочно демонструє процес «стиснення» водного дзеркала до сучасного природного русла та формування стійкої мережі проток. Ця просторова перебудова є результатом балансу між глибинною ерозією та накопиченням наносів, що остаточно закріплюють нову конфігурацію річкової долини.

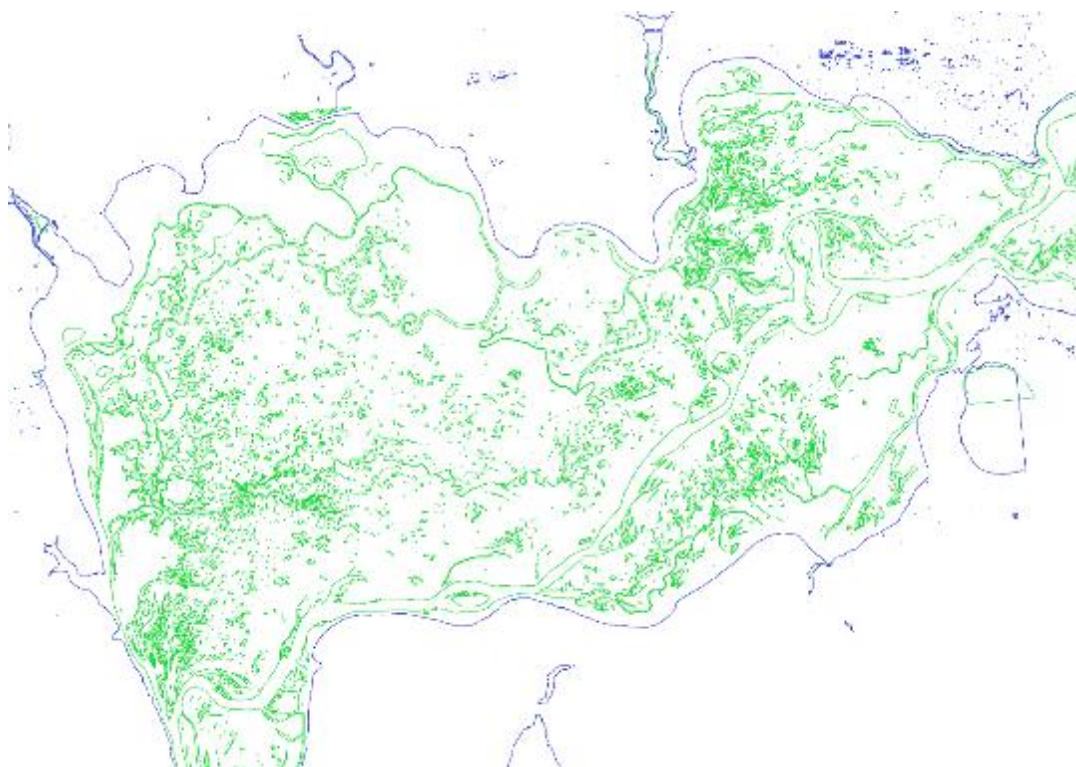


Рисунок 3.9. Морфодинаміки русла Нижнього Дніпра в межах Великого Лугу: накладання контурів акваторії (вересень 2023 р. та травень 2026 р.).

Паралельно з русловими змінами, супутниковий моніторинг фіксує інтенсивне біогенне освоєння звільнених територій. Порівняльний аналіз стану ложа (рис. 3.10) показує, що ділянки, які у 2023 році перебували в стані

відкритого мулистого субстрату, до 2024 року були трансформовані у лісові масиви.



Рисунок 3.10. Етапи сукцесії рослинного покриву на осушеному ложі Каховського водосховища: порівняльні супутникові знімки (а — серпень 2023 р.; б — серпень 2024 р.).

Ці молоді вербово-тополеві екосистеми не лише радикально змінили альбедо та вологісний режим території, але й відіграли роль біологічного каркасу, що призупинив процеси вітрової ерозії, остаточно стабілізувавши морфодинаміку русло-заплавного комплексу.

Геоморфологічні процеси та деформація річкового ложа

Стрімкий скид води спровокував різку активізацію руслових процесів під дією сили гравітації та збільшеного гідродинамічного нахилу русла. На ділянках колишнього підпору зафіксовано два домінуючих екзогенних процеси:

Глибинна ерозія: Потік річки інтенсивно врізається в товщу накопичених за 70 років донних відкладень, розмиваючи пухкі мули та піски. Це призводить до відновлення корінного русла Дніпра, поглиблення талового фарватеру та обвалення нестабільних берегових терас.

Акумуляція наносів: Транспортований ерозійний матеріал активно перевідкладається нижче за течією, формуючи нові підводні пасма, мілини та коси у пригирловій ділянці та дельті річки, що призводить до постійної міграції руслових рукавів.

Попри перші катастрофічні прогнози щодо перетворення оголеного дна на антропогенну пустелю та джерело пилових бур, на території відбулося унікальне за масштабами природне автентичне відновлення екосистем. Процес сукцесії пройшов кілька чітко диференційованих етапів, зафіксованих нашими хронологічними зрізами:

Початковий етап інтенсивного самосіву (червень – вересень 2023 р.): Руйнування греблі екологічно збіглося з періодом масового дозрівання насіння місцевих заплавлених видів дерев — насамперед верби білої (*Salix alba*) та тополі чорної (*Populus nigra*). Вітер і течія поширили мільярди насінин на вологий, багатий на органіку муловий субстрат. Станом на вересень 2023 року дно колишнього водосховища покрито густим щільним «килимом» піонерних проростків (щільністю до 50–60 рослин на 1м²). Оскільки проростки були дрібними, загальна біомаса та площа сформованого лісу у вересні 2023 року оцінювалися науковцями НАНУ та екологами UNCG початковими відмітками, що лише зароджувалися на стабільних мілинах.

Етап чагарникової стабілізації (2024–2025 рр.): Експедиційні дослідження Української природоохоронної групи (UNCG) підтвердили, що молоді верби та тополі успішно перезимували та за перший вегетаційний сезон досягли висоти 2,5–3 метри [19]. Коренева система чагарників повністю зафіксувала колишній нестабільний мул, зупинивши процеси вітрової ерозії. Потужне природне водопілля весни 2024 року забезпечило глибоке зволоження ґрунту, давши поштовх другій хвилі заростання. Загальна площа стабілізованого вербового біотопу (оселища Резолюції №4 Бернської конвенції) на середину 2024 року досягла понад 40% території колишнього ложа (близько 80 000 гектарів).

Етап формування стійких лісових геосистем (Травень 2026 р.): Поточний супутниковий моніторинг фіксує утворення найбільшого за площею лісового

масиву на півдні України. На сьогодні дерева досягли висоти 4–5 метрів, сформувавши зімкнутий лісовий намет. Це унікальний кліматостабілізуючий об'єкт: ліс ефективно поглинає мільйони тонн вуглекислого газу, має високу стійкість до посух і підтоплень завдяки високому залягання ґрунтових вод і повністю адаптований до умов річкової долини.

Таким чином, просторово-часовий аналіз доводить, що за трирічний період Нижній Дніпро здійснив радикальний перехід від повністю штучного гідротехнічного стану до динамічної, самовідновлюваної природної екосистеми річково-долинного типу [6, 20].

3.4 Прогноз подальшої динаміки русло-заплавного комплексу

Сучасний етап розвитку ландшафтів колишнього ложа Каховського водосховища (станом на 2026 рік) свідчить про повну заміну штучного озерного режиму на природний річково-долинний. Оскільки понад 80% осушеного дна вже трансформовано у ландшафти стійких лісових сукцесій, подальший розвиток цієї території визначатиметься довгостроковими кліматорегулюючими та гідрологічними чинниками. На основі отриманих картометричних та супутникових даних нами виділено три основні сценарії розвитку геосистем на найближчі десятиліття.

Сценарій природної клімаксної стабілізації (Оптимальний): У найближчі 10–15 років сформований молодий вербово-тополевий масив проходитиме стадію інтенсивного саморозрідження та видової диференціації. На зміну густим заростям прийде стійкий багаторусний заплавний ліс. Частина вологих низин остаточно закріпиться за біотопами верби білої (*Salix alba*), тоді як на вищих піщаних терасах посилиться експансія тополі чорної (*Populus nigra*) та чагарникових луків. Коріння дерев повністю заблокує пухкі донні відкладення, що мінімізує ерозію берегів та виключить ризик виникнення пилових бур. Цей масив виконуватиме роль потужного регіонального кліматичного буфера (поглинання вуглецю).

Сценарій гідрологічної пульсації (Динамічний): Ландшафти колишнього водосховища залишатимуться залежними від режиму скидів води з вище розташованих ГЕС Дніпровського каскаду та природних весняних водопіль. Періодичні підтоплення (як це фіксувалося у 2024–2026 рр.) омолоджуватимуть екосистеми, приносячи новий родючий мул та підтримуючи високий рівень залягання ґрунтових вод. У разі тривалих маловодних років можливе часткове всихання вербняків на периферійних ділянках та їх заміна на лучно-степову рослинність.

Сценарій антропогенного втручання (Регресивний): Пов'язаний із потенційними планами повторного гідротехнічного будівництва чи спробами штучного заліснення/розорювання осушених земель. Штучна зміна сформованого біоценозу призведе до вторинного екологічного шоку, руйнування унікального природного лісового масиву, масштабного винесення замулених шарів та деградації відновленої річкової мережі Нижнього Дніпра.

Враховуючи глобальну екологічну цінність відновленого Великого Лугу, традиційні підходи до природокористування (інтенсивне рибне господарство, судноплавство великих масштабів, гідроенергетика) мають бути повністю переглянуті на користь сталого розвитку:

Надання природоохоронного статусу: Сформований масив вербового лісу відповідає критеріям захисту Оселищної директиви Бернської конвенції зокрема, річкові прибережні вербові ліси. Необхідне юридичне розширення меж існуючих національних природних парків (наприклад, «Кам'янська Січ») або створення нового масштабного біосферного заповідника «Великий Луг» на всій площі колишнього ложа.

Розвиток адаптивного лісового та мисливського господарства: Заборона будь-яких суцільних рубок молодого лісу. Допускається лише науковий моніторинг природних сукцесій та охорона території від пожеж, які є головною загрозою для молодих масивів у літній період.

Водогосподарська адаптація: Оскільки площа відкритого водного дзеркала зменшилася з 2151 км² до стабільного сучасного контуру 342 км², водозабір для

потреб промисловості та зрошення Півдня України має базуватися на сучасному русловому контурі з використанням систем крапельного зрошення та інноваційних технологій енергозбереження, без повернення до ідеї гігантських мілководних резервуарів[24].

Проведене дослідження просторово-часової трансформації ложа Каховського водосховища за період 2023–2026 рр. доводить, що екосистема Нижнього Дніпра демонструє колосальний потенціал до самовідновлення. Перерозподіл площ екотопів (скорочення водної поверхні на 1809 км² та поява 1600 км² стійкої деревно-чагарникової рослинності) сформував нову екологічну реальність, яка потребує закріплення природоохоронного статусу та інтеграції відновлених ландшафтів до Смарагдової мережі Європи.

Висновки розділу 3

У третьому розділі було всебічно обґрунтовано методику дослідження екосистемної катастрофи Нижнього Дніпра в умовах обмеженого фізичного доступу до території через зону ведення бойових дій. Основу сформованого масиву вхідних даних дистанційного зондування Землі склали оптичні багатоспектральні знімки супутників угруповання Sentinel-2 з просторовою розрізненістю 10 метрів для видимих та ближнього інфрачервоного каналів. Їхні висока дискретність зйомки до 5 діб дала змогу детально відстежувати фази рослинної сукцесії. Для подолання проблеми хмарності в аналітичну схему було успішно інтегровано радарні дані С-діапазону супутника Sentinel-1, що дозволило забезпечити безперервний моніторинг формування нового річища, перерозподілу наносів та загальної перебудови русло-заплавного комплексу в реальному часі.

Новизна отриманого результату полягає у розробці та практичній реалізації методичної схеми суміщення різномірних супутникових даних для

оперативного картографування динаміки берегової лінії та кількісної оцінки площ геоморфологічних змін на ділянці колишнього Каховського водосховища.

Практична цінність розробленого методичного інструментарію та сформованих ГІС-проектів полягає у можливості їх безпосереднього впровадження в автоматизовані системи екологічного моніторингу профільних відомств. Отримані результати є основою для побудови цифрових моделей рельєфу нового русла Дніпра та прогнозування подальшого розвитку ландшафтів Великого Лугу, що необхідно для прийняття стратегічних рішень щодо майбутнього гідротехнічного відновлення регіону

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне наукове дослідження, присвячене оцінці просторово-часової морфодинаміки русло-заплавного комплексу Нижнього Дніпра в умовах воєнної агресії та зарегульованості стоку. Отримані підсумкові результати дозволяють сформулювати такі наукові та практичні висновки відповідно до поставлених завдань:

1. Ретроспективний аналіз гідрологічного режиму Дніпра довів, що створення каскаду водосховищ у XX столітті повністю нівелювало природні цикли водності. Штучне регулювання призвело до зниження швидкості течії до 0,01–0,03 м/с та акумуляції 70–80% твердого стоку в чашах водойм. Це трансформувало транзитну річкову систему на техногенно-стабільну мережу малопроточних резервуарів, згладивши весняну повінь (витрати у травні було примусово зменшено з 5270 м³/с до 1960 м³/с) та збільшивши зимову водність для потреб гідроенергетики.

2. Суббасейн Нижнього Дніпра, що охоплює 82 625 км² (близько 28% водозбору в межах України), до 2023 року функціонував як жорстко контрольований водогосподарський комплекс. Акумуляція водних мас у Каховському водосховищі (повний об'єм 18,19 км³) забезпечувала багаторічне регулювання стоку та підтримання стабільного підпірного рівня на позначці 16,0 м БС. Це було критичною технологічною умовою для гарантованого забору води у найбільшу в Європі іригаційну мережу (понад 500 тис. га земель) та промислові канали півдня України.

3. Воєнна агресія Росії проти України спровокувала безпрецедентну кризу водної інфраструктури. Задokumentовано, що використання гідротехнічних об'єктів як оборонного ресурсу (підтоплення 2800 га заплави р. Ірпінь) та руйнування гребель (втрата 355 млн м³ води Оскільського водосховища) запускають довгострокові процеси деградації долин річок. Фізичне руйнування дюкерів каналу «Сіверський Донець — Донбас» та припинення відкачування високомінералізованих шахтних вод (із концентрацією солей до 10–12 г/дм³)

створили пряму загрозу незворотного отруєння підземних водоносних горизонтів.

4. Навмисне руйнування Каховської ГЕС 6 червня 2023 року визначено як наймасштабнішу техногенну катастрофу XXI століття, що призвела до втрати 75% зарезервованої води та миттєвого осушення понад 200 тис. га ложа водосховища. Осушення Каховського та Північно-Кримського каналів запустило механізми їхньої фізичної деструкції: за відсутності води як термічного буфера залізобетонні плити зазнають кріогенного розклинювання, а через активну сукцесію чагарників система втрачає герметичність на 80–90% за 3–4 роки. Припинення промивного режиму на 584 тис. га сільськогосподарських угідь ініціювало капілярний підйом мінералізованих вод і вторинне засолення ґрунтів.

5. За умов обмеженого фізичного доступу до зони бойових дій розроблено та реалізовано ефективну методику дистанційного моніторингу руслово-заплавного комплексу. Сформований масив даних базується на інтеграції багатоспектральних оптичних знімків супутника Sentinel-2 (просторова розрізненість 10 м, дискретність до 5 діб) та радіолокаційних даних С-діапазону супутника Sentinel-1. Це дозволило подолати проблему хмарності й забезпечити безперервне картографування руслових деформацій у реальному часі.

6. ГІС-моделювання та векторизація берегової лінії підтвердили проходження русло-заплавного комплексу через фазу некерованої динаміки. Виявлено, що на місці колишнього водосховища сформувалося нове природне річище Дніпра, яке частково повторює історичні контури ложа Великого Лугу. На осушених мулових відкладах зафіксовано високу швидкість рослинної сукцесії, яка на початковому етапі відіграє позитивну екологічну роль, оскільки кореневі системи рослин фіксують дрібнодисперсний мул і стримують пилові бурі та аерогенний перенос важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn).

Виконана наукова робота має високу теоретичну та практичну цінність, оскільки пропонує готовий ГІС-інструментарій для автоматизованого екологічного моніторингу сильно змінених водних масивів. Результати

дослідження та прогностні моделі можуть бути безпосередньо впроваджені у практику діяльності Держводагентства та Міндовкілля України для оптимізації басейнового управління та розробки стратегій переходу від радянських закритих іригаційних мереж до гнучких модульних систем мікрозрошення.

Разом з тим, робота має певні науково-методичні хиби та обмеження, зумовлені специфікою досліджуваного періоду:

1. Через триваючі бойові дії та замінування берегових ліній у роботі повністю відсутні дані прямих натурних (польових) спостережень, що унеможливило проведення контактного калібрування супутникових знімків та точкового відбору проб ґрунтів і донних відкладів.

2. Використання космічних знімків із розрізненістю 10 метрів (Sentinel-1, 2) є достатнім для макроструктурного аналізу, проте не дозволяє з високою точністю фіксувати дрібні руслові мікроформи та початкові стадії тріщиноутворення в бетоні осушених каналів.

3. Прогностні моделі розвитку ландшафтів Великого Лугу мають високий ступінь невизначеності, оскільки не враховують можливих майбутніх сценаріїв повного або часткового відбудування греблі Каховської ГЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання / В. І. Вишневський – Київ : Віпол, 2000. – 376 с.
2. Вишневський В. І. Річка Дніпро / В. І. Вишневський – К. : Інтерпрес ЛТД, 2011. – 384 с.
3. Хільчевський В. К. Загальна гідрологія / В. К. Хільчевський – К. : Київський університет, 2008. – 399 с.
4. Хільчевський В. К. Гідрографія та водні ресурси Європи : навч. посібник / В. К. Хільчевський – К. : ДІА, 2017. – 308 с.
5. Маринич О. М. Фізична географія України : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – К. : Знання, 2005. – 511 с.
6. Хільчевський В. К. Гідрографічне районування території України : навч. посібник / В. К. Хільчевський, В. В. Гребінь — К. : ДІА, 2014. — 188 с.
7. Техногенна безпека гідровузлів та магістральних каналів : підручник / С. О. Кузнецов, М. Р. Іванчук, О. В. Суржко, І. М. Пащенко. – О. : Вид-во "Екологія", 2023. – 302 с.
8. Екологічний стан водних ресурсів України в умовах воєнного стану : монографія / [В. В. Сніжка, О. М. Волошкіна, О. І. Лук'янець та ін.] ; за ред. В. В. Сніжка. – К. : Наукова думка, 2024. – 256 с.
9. Довідник з експлуатації магістральних каналів та зрошувальних систем Півдня України / [ред.-упоряд. А. О. Андрієнко]. — Херсон : Держводресурс, 2015. — 214 с.
10. Вплив водосховищ на гідрологічний режим та екологічний стан річок // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 2017. – Вип. 46. – С. 87–94.
11. Аналітичні звіти та матеріали ПрАТ «Укргідроенерго» щодо стану каскаду ГЕС та наслідків руйнування Каховської ГЕС (2023–2026) // Збірник аналітичних матеріалів ПрАТ «Укргідроенерго», 2026. — Вип. 4. — С. 12–28.

12. Наслідки руйнування Каховської ГЕС для гідротехнічної інфраструктури // Аналітичний звіт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, 2024. — № 2. — С. 45–61.

13. Великі та малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості / В. К. Хільчевський, В. В. Гребінь, О. В. Чунарьов [та ін.] // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2021. — № 2 (60). — С. 16–27.

14. Меліорація та водне господарство: інноваційні підходи до відновлення / М. І. Ромащенко, А. П. Шатковський, С. А. Шевчук [та ін.] // Збірник наукових праць НАН України, 2025. — Вип. 112. — С. 18–34.

15. Про затвердження Меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 03.03.2017 р. № 103. — К. : Мінприроди України, 2017. — 18 с.

16. Про затвердження Переліку суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах районів річкових басейнів : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 26.01.2017 № 25 (у редакції Наказу № 30). — К. : Мінприроди України, 2017. — 24 с.

17. План управління річковим басейном Дніпра (суббасейн Нижнього Дніпра) : звіт про стратегічну екологічну оцінку. — Київ : Міндовкілля, 2023. — 184 с.

18. Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР // Відомості Верховної Ради України. — 1995. — № 24. — Ст. 189.

19. Ресурсы поверхностных водов СССР : в 20 т. — Т. 6 : Украина и Молдавия. — Вып. 2 : Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М. С. Каганера. — Л. : Гидрометеиздат, 1967. — 424 с.

20. Національний атлас України. — К. : Державне науково-виробниче підприємство «Картографія», 2007. — 440 с.

21. Каховська ГЕС імені П. С. Непорожнього: Технічний паспорт та історичний нарис. — Нова Каховка : Архів ПрАТ «Укргідроенерго», фонд № 4, опис № 1, спр. № 12. — 84 с.

22. Проектні дані будівництва Каховського гідровузла (1950–1956). — К. : Фонди Державного галузевого архіву енергетики України, спр. № 245. — 312 с.

23. Матеріали моніторингу Держводресурсів України щодо стану районів річкових басейнів (2024–2026) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://davr.gov.ua/monitoring-activity>.

24. Environmental Damage Assessment of the War in Ukraine. United Nations Environment Programme (UNEP) Technical Report [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.unep.org/resources/report/environmental-damage-assessment-war-ukraine>.