

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Географічний факультет

Кафедра геоекології і фізичної географії

Кваліфікаційна робота

на тему: «Ландшафтно-екологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС:
водні ресурси та стратегічне планування в умовах військового конфлікту»

Виконала студентка IV курсу

Групи ГРФ-41с

Спеціальності 106 «Географія»

Голуб О. О.

Керівник: Смалійчук А. Д.

Рецензент: Яцишин А. М.

Львів-2025

Зміст

Вступ

Розділ 1. Теоретико-методичний підхід до дослідження впливу воєнних дій на екосистеми.....6

1.1 Існуючі підходи до вивчення впливу воєнних дій на екосистеми.....6

1.2 Обґрунтування власного підходу до дослідження екологічних наслідків руйнування Каховської ГЕС.....8

1.3 Огляд літератури, джерела даних та їх опрацювання.....9

Розділ 2. Територія дослідження: Каховське водосховище та прилеглі екосистеми.....13

2.1 Каховське водосховище: історія створення та екологічна характеристика до руйнування.....14

2.2 Трансформація екосистеми Каховського водосховища та прилеглих територій після руйнування ГЕС.....16

Розділ 3. Екологічна катастрофа внаслідок підриву Каховської ГЕС та її наслідки.....20

3.1 Обставини та масштаби катастрофи.....20

3.2 Методологія дослідження екологічних наслідків за допомогою дистанційного зондування та ГІС-аналізу.....23

3.3 Екологічні наслідки катастрофи для аквальної та суходільної екосистем.....31

Розділ 4. Стратегічне планування в умовах військового конфлікту і відбудова.....38

4.1. Економічні збитки та потреби у фінансуванні.....39

4.2 Дилема відбудови: аргументи "за" та "проти".....42

4.3 Стратегічне планування та фінансове забезпечення відбудови.....44

Висновки

Перелік літературних джерел

Вступ

Екологічні небезпеки під час збройних конфліктів є особливо важливими, оскільки зміни, які вони викликають, можуть мати довгострокові наслідки для природного середовища, соціально-економічної стабільності та безпеки людей. Руйнування дамби Каховської ГЕС у червні 2023 року, не є винятком. Подія, яка серйозно змінила екологічну ситуацію на значній частині південної України. Вивчення геоекологічних змін, спричинених цією катастрофою, має важливе значення для розуміння масштабів збитків від катастрофи та розробки ефективних стратегій відновлення.

Актуальність: Руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 року стало однією з найбільших техногенно-екологічних катастроф в історії сучасної України. Подія призвела до суттєвих змін гідрологічного режиму нижньої течії Дніпра, порушила функціонування екосистеми, спричинила втрату зрошуваних земель, погіршення стану довкілля та створила загрозу для питного водопостачання сотень тисяч жителів. Зважаючи на те, що катастрофа сталася під час інтенсивного військового конфлікту, її наслідки були не лише екологічними, а й стратегічними, в той час як подолання наслідків мало низку обмежень зважаючи на безпекову ситуацію.

Мета дослідження: З'ясувати ландшафтно-екологічний вплив руйнування Каховської ГЕС на водні ресурси регіону та дослідити напрямки стратегічного планування відновлення та трансформації водних ресурсів в умовах військового конфлікту.

Об'єкт дослідження: Геоекосистеми південного регіону України, які постраждали внаслідок руйнування Каховської ГЕС.

Предмет: Екологічні, водогосподарські наслідки руйнування ГЕС, а також стратегічні підходи до їх відновлення в умовах військового конфлікту.

Завдання дослідження:

1. Виконати огляд існуючих теоретико-методичних підходів до вивчення впливу військових конфліктів на природне довкілля на основв яких

запропонувати власний підхід до дослідження екологічної катастрофи на Каховській ГЕС.

2. Проаналізувати історію створення Каховського водосховища для регіону Півдня України, передумови до руйнування Каховської ГЕС.
3. Вивчити ландшафтно-екологічні характеристики постраждалої.
4. Дослідити зміни гідрологічного режиму та водних ресурсів на території після руйнування греблі Каховської ГЕС за супутниковими даними.
5. Проаналізувати екологічні наслідки катастрофи для біорізноманіття, водних угруповань, ґрунтів і рослинності та розглянути динаміку змін у коротко- та середньостроковій перспективі.
6. Оцінити стратегічні загрози, пов'язані з екологічною безпекою та водопостачанням, та руйнуванням гідротехнічних об'єктів, а також перспективи відбудови в умовах триваючого збройного конфлікту.

Розділ 1. Теоретико-методичний підхід до дослідження впливу воєнних дій на екосистеми

В умовах сучасних збройних конфліктів, зокрема повномасштабної агресії проти України, екологічні наслідки військових дій стали невід'ємною складовою комплексної оцінки збитків, які вони завдають. Деградація екосистем, забруднення водних ресурсів, ґрунту та повітря, знищення середовищ існування і втрата біорізноманіття мають довгострокові наслідки, що виходять далеко за межі безпосереднього району бойових дій.

1.1. Існуючі підходи до вивчення впливу воєнних дій на екосистеми

Військові дії є потужними антропогенними факторами, які викликають значні зміни в природному середовищі. Вивчення цих впливів вимагає підходу, який об'єднує екологічні, правові, економічні та соціальні фактори. Сучасна військова екологія — це наукова галузь, яка вивчає взаємодію між військовою діяльністю та навколишнім середовищем, з наголосом на розробці методів мінімізації несприятливих наслідків і оцінки збитків [29].

Екологічна безпека в умовах збройного конфлікту вважається невід'ємною частиною національної та міжнародної безпеки. Вона охоплює захист життєво важливих людських і соціальних інтересів від загроз, спричинених діяльністю людини, включаючи військові дії, які можуть призвести до екологічних катастроф. Збройні конфлікти не тільки безпосередньо руйнують інфраструктуру, а й викликають ланцюгові реакції, які завдають шкоди екосистемам і загрожують здоров'ю населення.

Впливи військових операцій на навколишнє середовище можна розділити на прямі та непрямі. Прямі наслідки включають забруднення ґрунту, водних ресурсів і повітря вибуховими речовинами, паливом, важкими металами та токсичними сполуками. Ці наслідки також включають фізичне пошкодження природних об'єктів (ліси, водойми), мінування територій та знищення та фрагментацію біологічних угруповань [27].

Наприклад, підрив дамби Каховської ГЕС у червні 2023 року призвів до повсюдного затоплення, ерозії ґрунту, зникнення флори та фауни, забруднення Дніпра та Чорного моря. Непрямі наслідки менш очевидні, але однаково руйнівні. Ці наслідки включають зміни в моделях земле- та водокористування, збільшення браконьєрства та незаконних рубок, а також значне зниження ефективності екологічного моніторингу в зонах конфлікту [16].

В даний час розробляються різні методологічні основи для оцінки екологічної шкоди, завданої конфліктом. Міжнародні організації, такі як Програма ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) [26, 27, 28], ОБСЄ та НАТО, розробляють методології для оцінки «зеленої шкоди». Ці методи зазвичай включають збір даних, польові дослідження, лабораторний аналіз та економічну оцінку втрати екосистемних послуг.

Концепція екоциду має особливий статус як найсерйозніша форма екологічної шкоди, завданої довкіллю під час збройного конфлікту. Екоцид – знищення рослинного і тваринного світу у великих розмірах, забруднення атмосферного повітря або водних ресурсів, інші діяння, що можуть спричинити екологічне лихо [6].

Юридичні та екологічні аспекти екоциду є предметом активних дискусій у міжнародному праві з метою класифікації його як міжнародного злочину. Оцінка таких широкомасштабних впливів вимагає використання моделей екологічних ризиків для зон конфлікту для прогнозування та оцінки потенційних впливів. Історичний досвід оцінки впливу конфлікту на навколишнє середовище показує, що методи оцінки відрізняються, а масштаби катастроф різні. Наприклад, використання агента Orange під час війни у В'єтнамі призвело до тривалої деградації лісів і здоров'я людей. Війна в Перській затоці супроводжувалася масштабними розливами нафти і пожежами на нафтових родовищах, а конфлікти на Балканах призвели до сильного забруднення ґрунту вибухівкою. Ці випадки підкреслюють

необхідність оцінки екологічної шкоди та розробки ефективних стратегій відновлення [14].

1.2. Обґрунтування власного підходу до дослідження екологічних наслідків руйнування Каховської ГЕС

Враховуючи безпрецедентний характер пошкодження Каховської ГЕС та його масштабні та комплексні наслідки, вивчення його екологічних наслідків потребує системного підходу. Пошкодження ГЕС було не поодиноким випадком, а катастрофою, яка викликала ланцюгову реакцію у великій і взаємопов'язаній екосистемі в нижній течії Дніпра та прилеглих територіях.

Мій підхід базується на системному розумінні Каховської ГЕС та прилеглих територій. Відповідно до теорії, все є складною системою взаємопов'язаних елементів, і зміни в одному елементі неминуче впливають на інші. У цьому випадку обвал дамби ГЕС порушив не лише енергетичну систему, а й гідрологічний режим Дніпра, агропромисловий комплекс (зрошення), екологічну рівновагу півдня України (втрати водосховищ, відновлення Великого Лугу), а також ситуацію на Запорізькій АЕС та екологічний стан Чорного моря. Цей підхід дозволяє нам визначити довгострокові та кумулятивні ефекти, які часто не враховуються під час поверхневих аналізів, і уникнути одностороннього розуміння проблеми [13].

Використовуючи комплексний підхід до оцінки збитків, поєднуючи кількісні методи (фінансова оцінка збитку) та якісні методи (втрата екосистемних послуг, біорізноманіття). Це передбачало не лише фінансову оцінку шкоди (наприклад, за методикою, розробленою Міністерством охорони навколишнього природного середовища України), а й оцінку втрат екосистемних послуг. Екосистемні послуги включають водопостачання, регулювання клімату, очищення води, ґрунтоутворення та можливості для відпочинку — усі вони зазнали значних втрат. Інтегрований підхід також

включає екологічну оцінку (зміни у видовому складі, структурі спільноти, деградація ґрунту) та соціальну оцінку (втрата традиційного природокористування, вплив на здоров'я та добробут).

Особливу увагу приділено принципу «відбудувати краще, ніж було» (build back better) як орієнтиру для майбутньої реконструкції ландшафту. Цей принцип широко використовується міжнародними організаціями у сфері сталого розвитку та відновлення після стихійних лих і передбачає не лише відновлення пошкодженої інфраструктури до початкового стану, але й створення більш стійких, безпечніших та екологічно чистіших систем. У випадку з Каховською ГЕС це означало аналіз різних варіантів відновлення: чи повністю відновити водосховище, чи дати природі відновити історичний ландшафт Великого Лугу. Наш підхід включав екологічний аналіз наслідків кожного варіанту, беручи до уваги як короткострокові, так і довгострокові фактори [26,30].

1.3. Огляд літератури, джерела даних та їх опрацювання

Ефективне дослідження впливу воєнних дій на екосистеми вимагає ретельного огляду існуючої літератури та використання достовірних джерел даних, які охоплюють різні аспекти проблеми.

Для формування теоретичної та методологічної основи дослідження використовувався широкий спектр літературних джерел:

- Наукові публікації: це монографії та статті в рецензованих наукових журналах у галузях екології, гідрології, географії, економіки навколишнього середовища та міжнародного права. Особливо звернуто увагу на праці з методів наукових досліджень (Загвойська, 2017; Кульчицький, 2010; Ніколаєнко, 2019), які складають загальні принципи проведення наукових досліджень. Особливу увагу ми приділили результатам досліджень українських та міжнародних експертів щодо впливу військових дій на навколишнє середовище, а

також дослідженням басейну Дніпра та Каховського водосховища до та після його руйнування [1, 3, 4, 19].

- Офіційні звіти: Дослідження ґрунтується на офіційних звітах державних органів України, таких як Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Держлісагентство України, Міністерство аграрної політики та продовольства України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, а також заявах і оцінках Укргідроенерго та Енергоатома. У цих документах містяться офіційні дані про масштаби збитків, забруднення та економічні збитки (наприклад, «Зруйнована Каховська ГЕС..., 2023») [12, 15].
- Міжнародні звіти та публікації: важливі звіти міжнародних організацій (ЮНЕП, 2007; ЮНЕП, 2009), Програма розвитку ООН (ПРООН), Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО) та матеріали Світового банку (наприклад, Оцінка потреб відновлення України - RDNA (Група Світового банку, 2023)). Ці джерела зазвичай надають комплексні оцінки та рекомендації щодо відновлення. Цінними джерелами інформації є також публікації аналітичних центрів, неурядових організацій (наприклад, Nature Conservation Ukraine, 2023), тематичні огляди, що базуються на наукових доказах та експертних оцінках [5, 9, 25].
- Нормативно-правова база: важливо проаналізувати чинне законодавство України про охорону навколишнього природного середовища (Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», 1991 р.), законодавство про водокористування (Закон про воду України), а також міжнародні конвенції та протоколи, що стосуються охорони навколишнього середовища та оцінки впливу на довкілля під час збройних конфліктів (Закон України «Про оцінку впливу на довкілля», 2017 р.) [6].

Для всебічного аналізу ми використовуємо різноманітні джерела даних:

- Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ): Це ключовий метод для оцінки великомасштабних змін, що дозволяє отримати об'єктивні дані незалежно від доступу до території. Використано супутникові знімки від таких платформ, як Copernicus (супутник Sentinel-2), доступні через Copernicus Browser (Sentinel-1, Sentinel-2). Зокрема, для порівняльного аналізу були витягнуті та опрацьовані супутникові знімки за **11 березня 2024 року** та **14 липня 2024 року**. Ці дати дозволяють порівняти стан території після зимового періоду та після максимального літнього пересихання, що є критичним для оцінки змін водного дзеркала, рослинного покриву та осушених територій [24].
 - Sentinel-1 (радарні знімки): Дозволяють оцінювати площі затоплення незалежно від хмарності, що важливо для моніторингу гідрологічних змін [24].
 - Sentinel-2 (оптичні знімки): Застосовуються для детального аналізу змін рослинного покриву, виявлення нових русел річок, змін у ландшафті, що сталися після осушення [24].
- Гідрометеорологічні дані: Інформація про рівень води в річках, обсяги опадів, температуру повітря та води, що надаються Укргідрометцентром або міжнародними гідрологічними базами даних [2].
- Дані моніторингу довкілля: Лабораторні аналізи проб води, ґрунту, повітря, що проводяться Державною екологічною інспекцією України, науковими установами та міжнародними місіями [10].
- Економічні та статистичні дані: Дані Державної служби статистики України щодо сільськогосподарського виробництва, водокористування, демографічних змін у постраждалих регіонах [21, 30].
- Експертні оцінки: Узагальнені висновки та рекомендації провідних українських та міжнародних експертів у галузі екології, гідрології,

енергетики, що отримуються з наукових конференцій, круглих столів та аналітичних звітів [5, 9, 14, 16, 18, 22, 25].

Зібрані дані підлягають комплексній обробці та аналізу з використанням таких методів:

- **Геоінформаційний аналіз (ГІС-аналіз):**

- Використання програмного забезпечення QGIS є ключовим для обробки супутникових знімків [16, 17].
- Просторовий аналіз: Створення тематичних карт, що відображають зони затоплення [20].
- Моніторинг змін: Порівняння карт за різні періоди для відстеження динаміки відновлення чи подальшої деградації [5].

Обраний теоретико-методологічний підхід, заснована на системному та комплексному аналізі, є найкращими варіантом для комплексного дослідження екологічних наслідків руйнування Каховської ГЕС. Такий підхід дозволяє не лише оцінити безпосередні збитки, а й визначити віддалені кумулятивні наслідки та розглянути питання в контексті сталого розвитку та післявоєнного відновлення. Використання сучасних методів дистанційного зондування Землі, зокрема аналіз супутникових знімків Sentinel-2 у програмному забезпеченні QGIS за два критичні періоди 11 березня 2024 року (весняне водопілля) та 14 липня 2024 року (літня межень), у поєднанні з аналізом офіційних та наукових джерел, забезпечує високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів досліджень. Ця методологічна основа стане надійною основою для подальшого аналізу та розробки рекомендацій щодо відновлення постраждалих територій у наступних дослідженнях.

Розділ 2. Територія дослідження: Каховське водосховище та прилеглі екосистеми

Територія дослідження охоплює колишнє Каховське водосховище та прилеглі до нього території, від міста Запоріжжя до гирла Дніпра у Чорному морі. Стратегічне розташування регіону на стику трьох областей Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської робить його екологічні проблеми трансрегіональними та стратегічними для півдня України [2].

Рельєф досліджуваної території типовий для Причорноморської низовини — рівнинний з пологим схилом до Дніпра та Чорного моря. Геологічна будова складається переважно з кайнозойських (неогенових і палеогенових) осадових порід, включаючи глини, суглинки, пісковики, вапняки і лесові відкладення. Ці геологічні особливості впливають на формування гідрологічної системи в регіоні, забезпечують водоносні горизонти та визначають характеристики формування ґрунту [2].

Територія дослідження має помірно континентальний клімат з яскраво вираженими посушливими ознаками, характерним для степової зони України. Літо тривале і спекотне, з відносно низькою вологістю. Середньорічна кількість опадів зазвичай не перевищує 400-500 мм, тому для ведення сільського господарства часто необхідне штучне зрошення. Напрямок вітру переважно східний та південно-східний, що суттєво впливає на гідродинаміку водосховища та потенційне розсіювання пилу у водозбірній площі. Типи ґрунтового покриву Каховського водосховища та прилеглих до нього територій різноманітні. Основними ґрунтами є родючі південні чорноземи, але в умовах посушливого клімату для досягнення оптимальної продуктивності потрібне зрошення. Каштанові ґрунти поширені на більш високих ділянках. Алювіальні ґрунти, утворені річковими наносами, утворюються в заплавах і водозбірних зонах колишніх водосховищ. Після осушення водосховища структура, фізико-хімічні властивості та біологічна

активність цих ґрунтів суттєво змінюються, що довгостроково впливає на їх родючість та екологічний стан [2,5].

2.1 Каховське водосховище: історія створення та екологічна характеристика до руйнування

Каховське водосховище, побудоване в 1955-1958 роках, є важливим вузлом річки Дніпро. Його збудовано для вирішення кількох стратегічних завдань: вироблення електроенергії, забезпечення стабільного водопостачання для зрошення сільського господарства півдня України, постачання промислових об'єктів і населених пунктів, покращення середовища для судноплавства та рибальства. До свого знищення водосховище було одним з найбільших в Європі, його площа становила близько 2150 квадратних кілометрів і місткістю 18,2 кубічних кілометра. Його загальна довжина 240 кілометрів, а максимальна глибина 32 метри. Гідрологічні умови Каховського водосховища були суворо регламентованими у зв'язку з його розташуванням у Дніпровському каскаді та роботою Каховської ГЕС. Рівень води контролювався, але коливався сезонно і добово. Водообмін у водоймі відбувався повільно, що призвело до накопичення забруднюючих речовин. Вода текла значно повільніше, ніж у природних річках, що призвело до інтенсивного осадкоутворення та згущення донних відкладень [1, 3].

Екосистема до руйнування Каховського водосховища була типовою для великої рівнинної водойми.

- Водна рослинність: макроводні рослини (вищі водні рослини), такі як очерет, рогоз і латаття, ростуть уздовж берега та на мілководді, утворюючи великі зарості. Ці зарості діють як біологічні фільтри, а також є притулком для водних організмів [19].

- Фітопланктон є основою водного харчового ланцюга, але його надмірне зростання часто викликає «цвітіння» у водоймах, що свідчить про евтрофікацію.
- Рибні ресурси: Каховське водосховище має багаті рибні ресурси, в тому числі місцеві та екзотичні види. Однак із будівництвом водосховища ситуація змінилася. Місцевих гідрофільних видів, які віддають перевагу бурхливим водам, зменшилося, а озерних – збільшилося. Водосховище має значне рибогосподарське значення [7].
- Бентосна фауна та зоопланктон: ці групи є важливими компонентами екосистеми. Зоопланктон (дрібні ракоподібні та коловертки) є основним джерелом їжі для молоді риби, тоді як донна фауна (личинки комах, молюски, черви та інші донні організми) є важливим індикатором донних відкладень і джерелом їжі для придонних риб [19].
- Екологічні проблеми до руйнування водосховища: до руйнування Каховського водосховища було багато серйозних екологічних проблем, характерних для керованих водосховищ. Основними проблемами були евтрофікація (надмірне надходження біогенних речовин), забруднення різними речовинами (промислові стічні води, побутові стоки, пестициди), сильне замулення дна водойми та абразія берегів.. Ці проблеми призвели до погіршення якості води у водоймі, зменшення біорізноманіття та загального погіршення екологічної ситуації [19].

Ландшафт уздовж Каховського водосховища різноманітний: ліси, луки, сільськогосподарські угіддя, населені пункти. Ці території відіграють важливу роль у функціонуванні екосистеми водойми, впливаючи на якість води через поверхневий стік і забезпечуючи середовище проживання для наземної флори та фауни. Особливе місце в історії та екології регіону займає Великий Луг як унікальна заплавна екосистема, що існувала до будівництва Каховського водосховища. Ця велика заплава, що складається з лісів, луків,

боліт, озер і приток річки Дніпро, надзвичайно багата на біорізноманіття і є одним із найпродуктивніших природних комплексів у Європі. Великий Луг має не тільки високу природну цінність, а й глибоке культурно-історичне значення як центр племені запорожців. Будівництво водосховища призвело до затоплення цієї унікальної екосистеми. Флора прибережної території включає типові рослинні угруповання: заплавні луки з багатою трав'янистою рослинністю, великі зарості очерету вздовж узбережжя та залишки байрачних лісів в балках. Незважаючи на тиск діяльності людини, флора Нижнього Дніпра все ще багата на біорізноманіття [4, 9].

Тваринний світ прибережної території також досить різноманітний. Є багато видів птахів, особливо водоплавних та біляводних, які використовують водосховище та його береги як місця для гніздування та міграції. Серед ссавців поширені гризуни, м'ясоїдні та зайці. Крім того, є амфібії та рептилії. Ці види занесені до Червоної книги України.

2.2 Трансформація екосистеми Каховського водосховища та прилеглих територій після руйнування ГЕС

У червні 2023 року руйнування на Каховській ГЕС призвело до безпрецедентно масштабних змін в екосистемі корінної водойми та прилеглої території, що зрештою спричинило екологічну катастрофу [16].

Підрив Каховської ГЕС у 2023 році спричинив масштабне екологічне лихо, торкнувшись близько 50 природно-заповідних об'єктів. Серед них — Національні природні парки "Великий Луг" та "Нижньодніпровський", значні частини яких були осушені або затоплені. Також постраждав Чорноморський біосферний заповідник і численні заказники та водно-болотні угіддя, що призвело до втрати біорізноманіття та деградації унікальних екосистем регіону.

Катастрофічне обміління водосховища призвело до повного зникнення його резервуарної функції. Натомість річка Дніпро відновила своє початкове

русло та утворила нові русла та тимчасові водосховища. Це призвело до значних змін рівня ґрунтових вод на прилеглий території, що вплинуло на умови водопостачання та рослинності [16].



Рис. 2.1 Супутниковий знімок Каховського водосховища та прилеглих територій станом на 11 березня 2024 року (період високої води після підриву).
Джерело: Copernicus Browse [24]

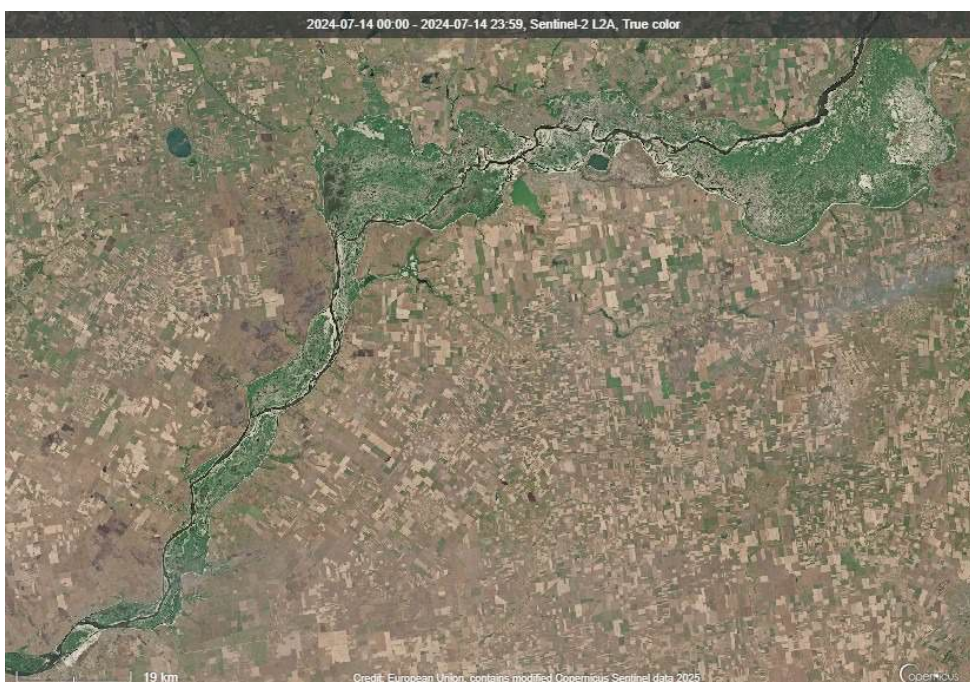


Рис. 2.2 Супутниковий знімок Каховського водосховища та прилеглих територій станом на 14 липня 2024 року (період низької води після підриву).

Джерело: Copernicus Browser [24]

Після осушення старих водойм на землі утворилися нові ландшафти. Значні площі дна водосховища, які тривалий час були вкриті муловими відкладеннями, що містять органічні речовини та потенційні забруднювачі, тепер оголені. Ці території сприйнятливі до вітрової та водної ерозії, що може спричинити піщані бурі та подальшу зміну структури ґрунту [5, 10].

- Іхтіофауна: ситуація з рибою після виведення з експлуатації водосховищ була катастрофічною. Одразу після виведення з експлуатації водосховищ було зафіксовано масову загибель риби, що призвело до різкого скорочення чисельності риби в Дніпрі та прилеглих водоймах, а також зміни видового складу. Багато видів, які пристосувалися до середовища водойми, втратили місце проживання [5, 16].
- Водна та прибережна рослинність: Водна рослинність водойм повністю загинула. Натомість на осушених ділянках річкового дна розпочався процес рослинної сукцесії – першопрохідні види рослин починають заселяти нові території. На історичному Великому Лузі відновлюється лучно-болотна рослинність [5, 9].
- Фауна: зміни гідрологічних умов і зниження рівня ґрунтових вод мали значний вплив на водоплавних птахів, які втратили місця гніздування та джерела їжі. Також постраждали популяції земноводних, рептилій і ссавців, пов'язані з прибережними екосистемами. Багато видів були змушені мігрувати, що спричинило додатковий тиск на інші екосистеми [16].

Руйнування гідроелектростанції призвело до масштабного забруднення землі та водойм. Це включає поширення річкових відкладень (мулу), які містять забруднюючі речовини, що накопичувалися десятиліттями, такі як

важкі метали, нафтопродукти та інші токсичні речовини. Крім того, змив хімікатів із сільськогосподарських полів та наслідки затоплення кладовищ, очисних споруд та звалищ призвели до бактеріального та хімічного забруднення, що становить значну загрозу здоров'ю населення та екосистемам [5, 16, 25].

Розділ 3. Екологічна катастрофа внаслідок підриву Каховської ГЕС та її наслідки

Руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року став переломним моментом в історії сучасної України, який спровокував небачену екологічну ситуацію. Ця подія, яку можна назвати екологічною катастрофою, призвела до кардинальних змін у рельєфі, гідрологічному середовищі та екосистемах півдня України з серйозними соціально-економічними та гуманітарними наслідками.

Підрив Каховської ГЕС у 2023 році спричинив не лише масштабну руйнацію прибережних екосистем, а й низку подальших загроз. Значне опріснення та забруднення Чорного моря від винесеної прісної води, мулу та хімікатів несе серйозні ризики для морської флори й фауни. Крім того, зниження рівня води у водосховищі створило потенційну загрозу для системи охолодження Запорізької АЕС, хоча наразі ситуація стабілізована альтернативними джерелами води. Водночас, затоплення промислової зони Херсона призвело до потрапляння токсичних речовин і палива у воду, посилюючи забруднення Дніпра та Чорного моря.

3.1. Обставини та масштаби катастрофи

Вранці 6 червня 2023 року світ став свідком безпрецедентної техногенної екологічної катастрофи. Причиною катастрофи став вибух у машинному залі Каховської ГЕС з подальшим обвалом дамби. Аварія сталася поблизу міста Ново-Каховка Херсонської області, Україна, і призвела до неконтрольованого падіння рівня води Каховського водосховища, що завдало серйозної шкоди нижній течії Дніпра. Українська влада та значна частина міжнародної спільноти одразу зафіксували інцидент як терористичний акт та екоцид, спрямований на завдання максимально можливої шкоди українському довіллю та українцям. Згідно зі статтею 441 Кримінального кодексу України, екоцидом є знищення рослинного і тваринного світу у великих розмірах,

забруднення атмосферного повітря або водних ресурсів, інші діяння, що можуть спричинити екологічне лихо. Юристи підкреслили, що дії, які призвели до руйнування Каховської ГЕС, повністю відповідають цьому визначенню, оскільки вони не лише безпосередньо змінили навколишнє природне середовище, а й спричинили довгострокові, масштабні та незворотні зміни. Масштаби катастрофи та її вплив на довкілля України та всього Чорноморського регіону роблять її однією з найбільших екологічних катастроф у Європі за останні десятиліття. Пошкодження дамби викликало ланцюгову реакцію, яка вплинула на гідрологічні умови, біорізноманіття, ґрунт, сільськогосподарські угіддя та водопостачання для мільйонів людей, а також на культурну спадщину. Прямим наслідком обвалу дамби Каховської ГЕС став неконтрольований і швидкий вихід води з однойменного водосховища. Водосховище має об'єм близько 18,2 млрд кубометрів, велика кількість рідини, що вивільнилася, стікала по Дніпру, спричинивши затоплення великих територій Херсонської області. За даними Держводагентства України, після прориву дамби рівень води у водосховищі стрімко падав зі швидкістю кілька десятків сантиметрів на годину, а в перші кілька днів навіть падав більш ніж на один метр на добу, що призвело до висихання великих територій. У Херсонській області рівень води в нижній частині Дніпра піднявся до критичних позначок, підтопивши десятки населених пунктів, зокрема більшу частину міста Херсона та десятки сіл. Загальна площа затоплення оцінюється в сотні квадратних кілометрів. Повінь швидко поширилася, і багато жителів і худоби не змогли вчасно евакуюватися. Повінь знищила будівлі, сільськогосподарські угіддя та інфраструктуру, а також спричинила загибель великої кількості рослин і тварин, які опинились у воді. Паралельно з розливом нижньої течії швидко обміліло і пересохло саме Каховське водосховище. Колись дзеркальна водойма нині висохла, залишилося лише русло Дніпра та кілька невеликих водойм, розкиданих по регіону. Це призвело до появи абсолютно нового

ландшафту, який потребує окремого аналізу та моніторингу [2, 5, 6, 9, 12, 20, 23, 25].

Отже, безпосередні гідрологічні наслідки включають два взаємопов'язані, але діаметрально протилежні процеси: катастрофічне затоплення територій нижче за течією дамби та швидке висихання колишнього Каховського водосховища.

Каховська гідроелектростанція була ключовим елементом не лише Дніпровського каскаду, а й усієї Південної України. Її зруйнування спричинило ланцюгову реакцію, що багаторазово посилила масштаби екологічної катастрофи. Основні інфраструктурні функції, які виконувала Каховська ГЕС до підриву, включали:

- Гідроенергетика: гідроенергетика забезпечує потреби регіону та об'єднаної енергетичної системи України. Руйнування гідроелектростанції призвело до втрати великої кількості енергетичних потужностей [3, 15].
- Регулювання стоку річки Дніпро: дамба підтримує рівень води Каховського водосховища, який є важливим для судноплавства та роботи водозаборів[1].
- Зрошення: водосховище є джерелом води для Північного Криму, Каховського та інших каналів, які зрошують мільйони гектарів сільськогосподарських угідь півдня. Руйнування водосховища загрожує сільськогосподарському виробництву в регіоні [3, 21].
- Водопостачання: вода з Каховського водосховища використовується для водопостачання міст і промислових підприємств Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської областей. Зокрема, на Запорізькій АЕС вода з водойми використовується для охолодження реакторів, що створило додатковий ризик для ядерної безпеки після вибуху [10, 22].
- Рибальство: водосховища є важливими місцями для рибальства.

Руйнування такої багатофункціональної інфраструктури матиме прямі та каскадні наслідки для всіх систем, які залежать від її функціонування. Пошкодження дамби призвело не лише до викидів води, а й повністю порушило регіональний гідрологічний баланс, що призвело до масштабних екологічних, соціальних та економічних наслідків. За попередніми даними, загальні збитки оцінюються в мільярди доларів, що свідчить про катастрофічний масштаб збитків [12, 17, 18, 30].

3.2. Методологія дослідження екологічних наслідків за допомогою дистанційного зондування та ГІС-аналізу

Для комплексної оцінки динаміки змін у водах Каховського водосховища та прилеглих до нього територій після руйнування ГЕС використано методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та аналізу географічної інформації (ГІС). Такий підхід дозволив кількісно та якісно оцінити масштаби гідрологічних та геоморфологічних змін, що відбулися на території дослідження.

3.2.1. Вибір та обґрунтування супутникових знімків

Основним джерелом даних є супутникові зображення Sentinel-2, отримані з платформи Copernicus Browser (Sentinel-2). Супутники Sentinel-2A і Sentinel-2B є частиною програми Європейського космічного агентства (ESA) Copernicus, які ідеально підходять для моніторингу масштабних змін навколишнього середовища. Висока періодичність отримання зображень дозволяє відстежувати динамічні процеси [24].

Для аналізу було обрано три ключові дати, що відображають різні етапи катастрофи та період після катастрофи:

5 червня 2023 року: це зображення було вибрано як базове (до катастрофи). Він відображає стан Каховського водосховища до прориву дамби та надає довідкові дані про площу водного дзеркала, морфологію берегової лінії та наявність водойм.

11 березня 2024 року: на цьому зображенні зображено територію з найвищим рівнем води (сезонний максимум) після руйнування гідроелектростанції. Цю дату було обрано, щоб оцінити, якою мірою природний стік і опади в період високої водності можуть вплинути на ландшафтну структуру території колишнього Каховського водосховища.

14 липня 2024 року: космічний знімок було вибрано, щоб показати територію в найпосушливіший період (літня межень) після трагедії. Це важливо для оцінки площі осушених (звільнених від води) земель, формування нового русла Дніпра та початку природної сукцесії (заростання).

Ця дата була обрана для того, щоб можна було провести порівняльний аналіз гідрологічної динаміки та морфологічних змін на території колишнього водосховища, що відображає процес зниження рівня води та наступні сезонні коливання.

3.2.2. Застосування інструментів ГІС (QGIS)

Обробку та аналіз супутникових знімків проводили за допомогою безкоштовно доступного геопросторового програмного забезпечення QGIS (Quantum GIS) версії 3.28.3. Ця ГІС-платформа надає багатий набір інструментів для геопросторового аналізу, обробки векторних і растрових даних [8].

Процес обробки включав наступні етапи:

- Завантаження та попередня обробка: зображення Sentinel-2, завантажені з браузера Copernicus, були імпортовані в QGIS. Візуалізацію та базовий аналіз проводили з використанням різноманітних комбінацій спектральних каналів (псевдоколірні зображення для екстракції води та рослинності).
- Створення порівняльних карт: На основі отриманих шарів водних об'єктів 11 березня 2024 року та 14 липня 2024 року створено порівняльні карти для візуалізації розташування та площі решти

водойм. Це може чітко показати різницю між періодом весняної повені та періодом літнього спаду рівня води після прориву дамби.

Аналіз серії супутникових знімків, зроблених до та після руйнування гідроелектростанції на Каховському водосховищі, виявив безпрецедентні гідрологічні та геоморфологічні зміни на території дослідження. Дані підтверджують масштаби екологічної катастрофи та розкривають процес формування нового ландшафту.

Стан Каховського водосховища до підриву (05.06.2023)

На супутниковому знімку Каховського водосховища, зробленому 5 червня 2023 року за день до підриву дамби, видно його звичайний стан великої штучної водойми. Його площа становить близько 2150 квадратних кілометрів, а рівень води під час літньої експлуатації залишається на нормальному рівні. Водна поверхня суцільна, берегова лінія чиста, що відповідає призначенню інфраструктури водосховища (гідроелектростанції, зрошення та водопостачання). Цей космічний знімок є основою для порівняння та візуалізації подальших катастрофічних змін [3].

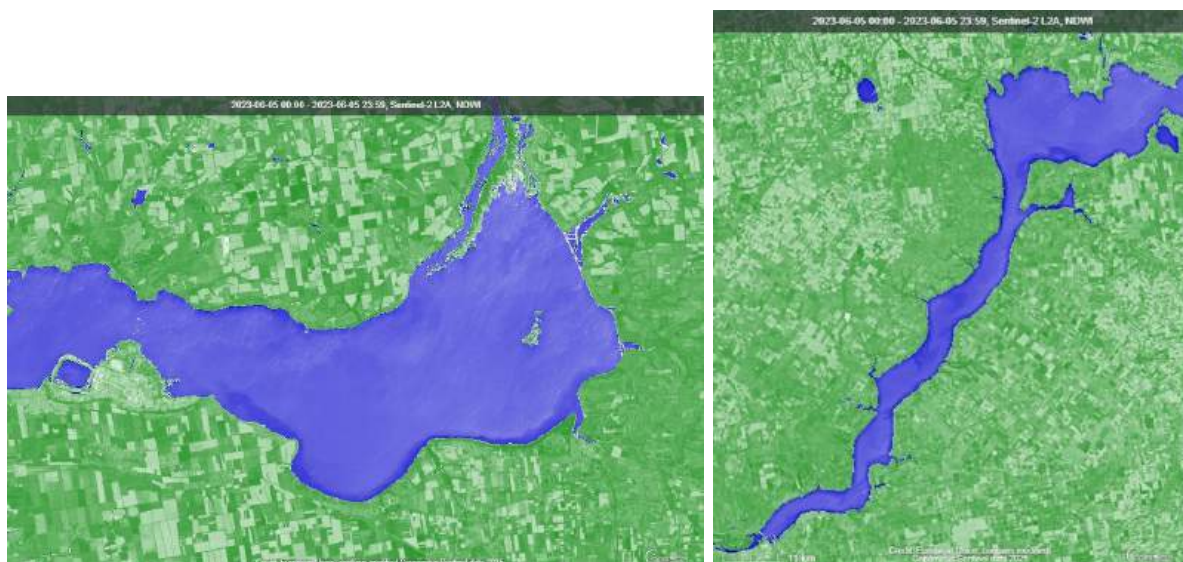


Рис. 3.1.1 та 3.1.2 Супутникові знімки, що відображають значення нормалізованого різницею водного індексу (NDWI) для Каховського

водосховища і околиць станом на 05 червня 2023 року (до підриву).

Джерело: Copernicus Browser

Пік повені після вибуху (11.03.2024)

Цей супутниковий знімок зроблений за 11 березня 2024 року і показує ситуацію в районі під час весняної повені після руйнування Каховської ГЕС. Хоча більша частина води у водосховищі через сезонні опади та танення снігу вже давно вийшла з русла річки, рівень води Дніпра, який зараз протікає по колишньому дну водосховища, значно піднявся.

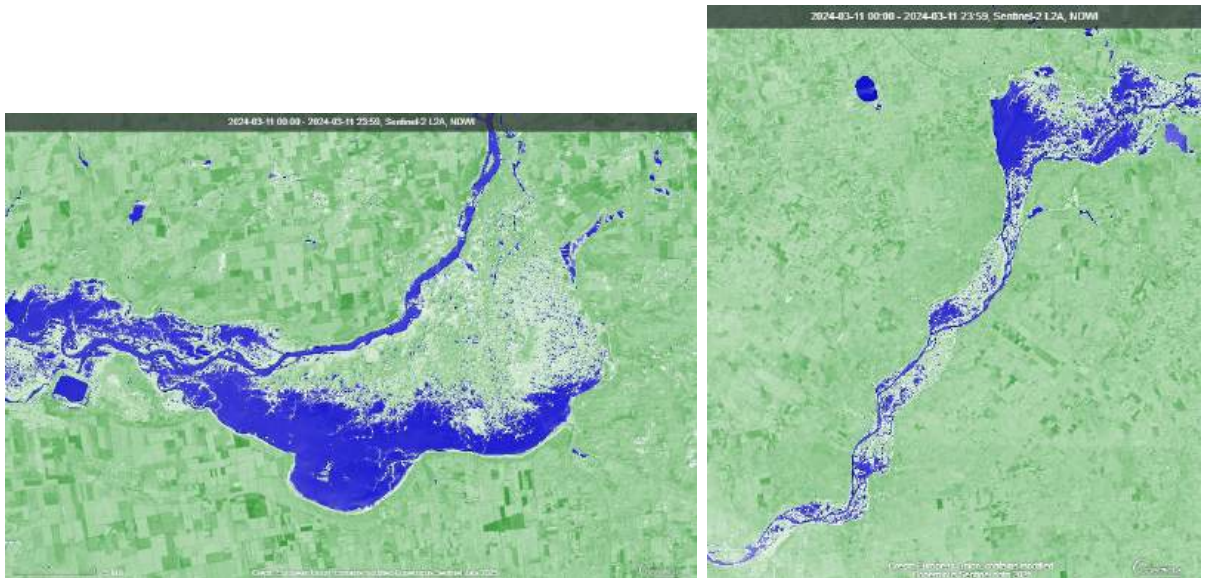


Рис. 3.2.1 та 3.2.2 Супутникові знімки, що відображають значення нормалізованого різницею водного індексу (NDWI) Каховського водосховища та прилеглих територій і околиць станом на 11 березня 2024 року (період високої води після підриву).

Джерело: Copernicus Browser

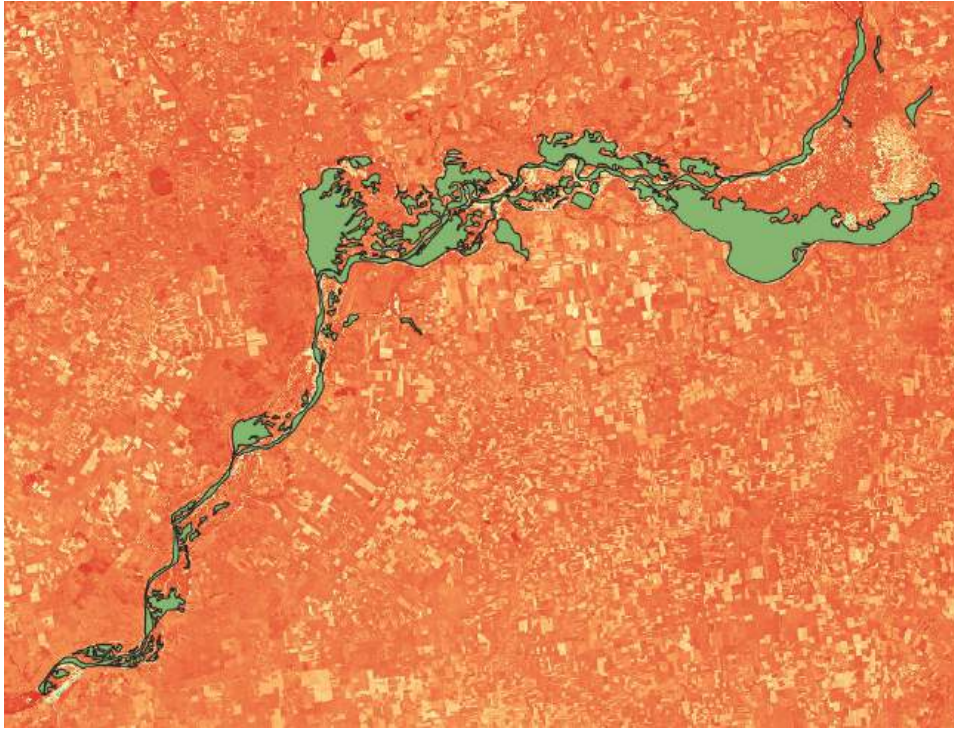


Рис. 3.3 Карта, створена за результатами ГІС-аналізу знімку від 11 березня 2024 року, що відображає площу та конфігурацію водних об'єктів (виділені зеленим кольором) на території колишнього водосховища у період весняного водопілля.

На рисунку 3.3 наведено результат ГІС-обробки зображення від 11 березня 2024 року. Видно, що значна частина вихідного річкового русла водосховища була тимчасово заповнена. Добре видно і зеленіє не тільки основне русло Дніпра, але й численні притоки, тимчасові озера та заболочені території, що утворилися в низинах первісної водойми. Це свідчить про те, що за рахунок природного стоку та опадів відбулося сезонне відновлення покриття водної поверхні, що є характерною рисою весняного паводкового періоду. Ця площа, хоча й значно менша за площу Каховського водосховища до його руйнування, представляє максимальний водний покрив на осушеній території після катастрофи в період весняного водопілля.

Період максимального осушення та пересихання (14.07.2024)

Знімок від 14 липня 2024 року (Рис. 3.4) відображає територію колишнього водосховища у найпосушливіший період після підриву ГЕС. На цей час більшість тимчасових водойм, що утворилися під час весняного водопілля, вже пересохли або значно скоротилися.



Рис. 3.4 Супутникові знімки (NDWI) Каховського водосховища та прилеглих територій станом на 14 липня 2024 року (період низької води після підриву) у північній (зліва) та південній частині (справа).

Джерело: Copernicus Browser

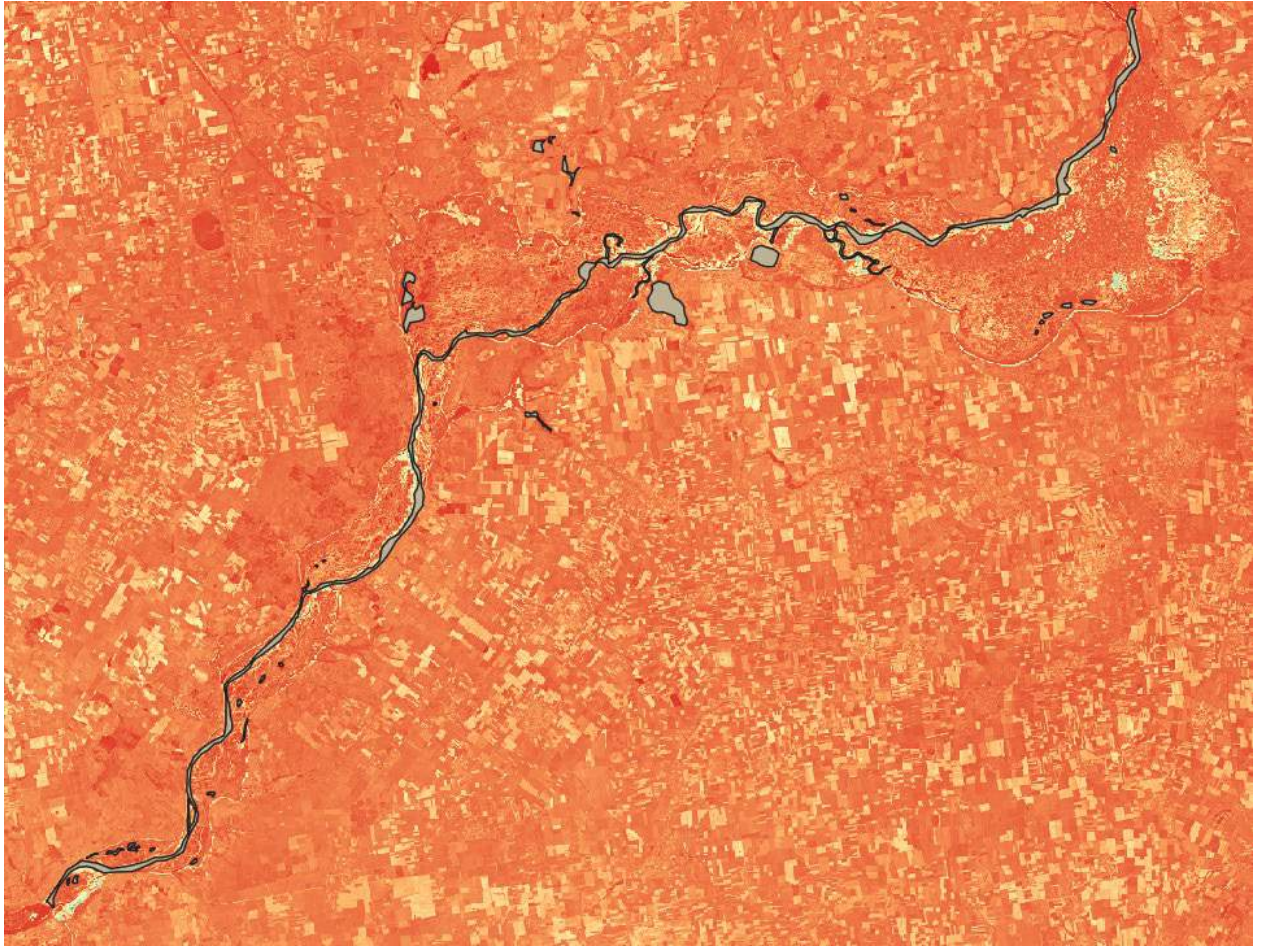


Рис. 3.5 Карта, створена за результатами ГІС-аналізу знімка 14 липня 2024 року, що відображає площу та конфігурацію водних об'єктів (виділені сірим кольором) на території колишнього водосховища у період посушливий.

На рисунку 3.5 наведено результати ГІС-обробки зображення від 14 липня 2024 року, чітко видно, що водний покрив на території колишнього водосховища скоротився до мінімальних показників. Водними об'єктами (виділені сірою лінією) залишаються переважно основне русло Дніпра та лише декілька невеликих ізольованих водойм у найглибших западинах.

Це є підтвердженням інтенсивного процесу осушення території в літній період, що є природним для регіону з посушливим кліматом та відсутністю водорегулюючої споруди. На цій карті також добре простежується змінена конфігурація русла Дніпра, яке тепер тече по своєму історичному руслу.

3.2.3 Порівняльний аналіз динаміки змін

Наочна візуалізація та кількісне порівняння даних, отриманих з трьох супутникових знімків, особливо чітко видно на Рис. 3.6, який демонструє різницю у площах водного покриву між весняним водопіллям (11.03.2024) та літнім осушенням (14.07.2024)

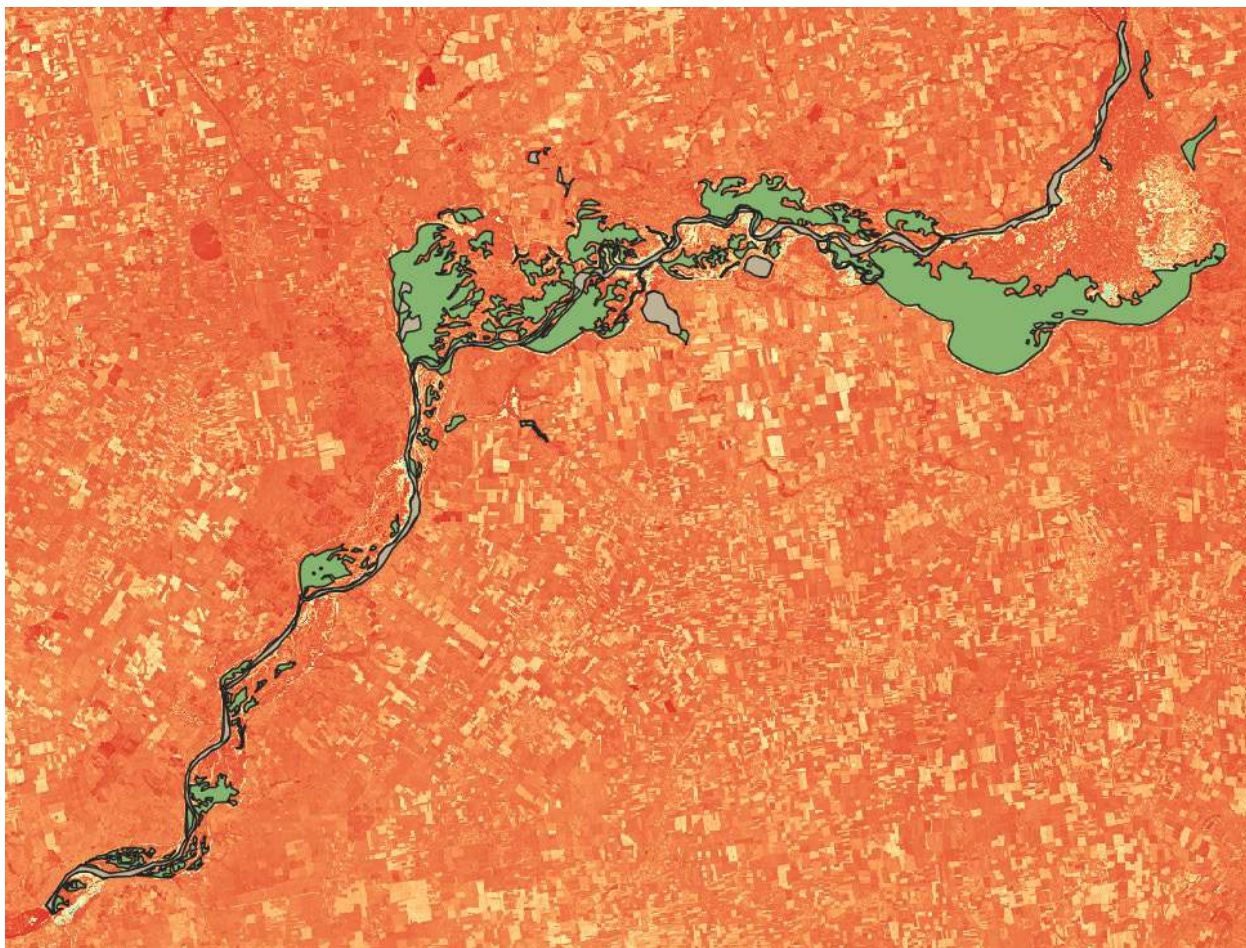


Рис. 3.6. Порівняльна карта водних об'єктів Каховського водосховища за даними QGIS: 11 березня 2024 року (зелений контур) та 14 липня 2024 року (сірий контур).

Порівняння даних між цими двома періодами, а також з докатастрофічним станом, дозволяє зробити наступні висновки:

- **До катастрофи (05.06.2023):** Водосховище функціонувало як велика штучна водойма площею $\sim 2150 \text{ км}^2$ [3].

- **Після підриву, водопілля (11.03.2024):** Помітно значне обміління, але з наявністю тимчасових водойм, що формуються за рахунок сезонних факторів [5, 16].
- **Після підриву, посушливий період (14.07.2024):** Виділенні об'єкти відповідаю фактично руслу Дніпра та залишковим глибоким ділянкам [5, 16].

Ці дані наочно демонструють, що на місці водосховища фактично відновилося русло річки Дніпро, а більшість його колишньої площі перетворилася на осушені землі. Спостерігається активне формування нового рельєфу дна, обумовлене ерозійними процесами та природним поверненням річки до свого історичного русла. На осушених ділянках, особливо тих, що були оголені раніше, вже візуалізуються перші ознаки природної сукцесії та відродження рослинності. Подальший аналіз цих морфологічних змін, а також їхній вплив на ґрунтовий покрив та біорізноманіття, буде розглянуто в наступних підрозділах [5, 9, 16].

Гаразд, давайте розглянемо ці розділи більш детально, поєднавши інформацію з літератури. Я буду використовувати наданий вами список джерел і цитуватиму їх у тексті.

3.3 Екологічні наслідки катастрофи для водних і наземних екосистем

Руйнування Каховського водосховища мало масштабні, багатогранні екологічні наслідки, які торкнулися майже всіх компонентів природного середовища півдня України. Ці зміни вплинули на водні, ґрунтові та біологічні системи, створюючи довгострокові проблеми для екологічного відновлення та стабільності.

3.3.1. Вплив на водні ресурси та гідрологію

Неконтрольований випуск води з Каховського водосховища суттєво змінив гідрологічний режим річки Дніпро та його приток, а також вплинув

на водні екосистеми Дніпровсько-Бузького лиману та прибережної зони Чорного моря [5, 27].

Зміни хімічного складу води та наявність забруднюючих речовин:

Масштабна повінь, що прокотилася вниз за течією, змила велику кількість забруднюючих речовин з прибережних територій, населених пунктів, промислових об'єктів і сільськогосподарських полів. До цих забруднюючих речовин належать нафтопродукти, сільськогосподарські хімікати, стічні води, сміття, токсичні речовини з кладовищ і могил тварин [16, 25, 29].

Зі зниженням рівня води у водосховищі в руслі річки оголилися відкладення, що містять важкі метали, радіонукліди (особливо чорнобильські) та інші шкідливі речовини, що накопичувалися десятиліттями. Зараз ці відкладення розмиваються вітром і змиваються дощами, а потім стікають у Дніпро, що може спричинити вторинне забруднення води [5, 16].

Значно змінився вміст кисню у водосховищі, особливо в Дніпро-Бузькому лимані та на узбережжі Чорного моря. Надходження великої кількості прісної води та органічних забруднювачів з Дніпра призвело до зниження солоності, зміни температури та, як наслідок, порушення біохімічних процесів, що може призвести до задухи та навіть загибелі морських мешканців [27].

Питання водопостачання населення та сільського господарства:

Колись Каховське водосховище було основним джерелом водопостачання для зрошувального землеробства півдня України через Північно-Кримський, Каховський та інші канали. Обміління водойми призвело до повного припинення водопостачання з цих водних систем, що загрожує сільськогосподарському виробництву в Херсонській, Запорізькій та Дніпропетровській областях [3, 4, 21].

Крім того, мільйони міських жителів, які покладаються на централізоване водопостачання з резервуарів або каналів, стикаються з серйозною нестачею питної води. Втрата джерел чистої води також становить загрозу здоров'ю населення через використання джерел забрудненої води [15, 22].

Вплив на гідрологічні умови Дніпровсько-Бузького лиману та прибережної зони Чорного моря:

Катастрофічний скид прісної води з Каховського водосховища призвів до різкого зниження солоності водою Дніпровсько-Бузького лиману та північно-західної частини Чорного моря. Це чинить тиск на морські організми, адаптовані до гіперсолонного середовища, і може призвести до їх смертності та зміни видового складу. Зміни в кругообігу води та біологічній продуктивності можуть мати довгостроковий вплив на рибні запаси та всю прибережну екосистему [5, 27].

3.3.2. Вплив на ґрунтовий покрив

Зміни гідрологічного режиму та осушення значних площ дна Каховського водосховища суттєво вплинули на ґрунтовий покрив, загрожуючи його деградації та забрудненню.

Ерозійні процеси:

Денна зона водосховища, раніше захищена шаром води, тепер піддається впливу атмосферних факторів. Це призводить до збільшення вітрової ерозії, особливо в сухий сезон, і може викликати пилові бурі. Ці пилові бурі переносять частинки ґрунту та осаду на великі відстані, забруднюючи повітря та осідаючи їх у сусідніх районах. Водна ерозія також зросла через відсутність регулювання стоку води та формування нового русла річки Дніпро, що призвело до ерозії берегів річки та втрати ґрунту [5, 10, 16].

Забруднення ґрунту:

Відкладення на дні Каховського водосховища накопичувалися протягом десятиліть і містять велику кількість забруднюючих речовин, таких як важкі метали (свинець, кадмій, ртуть), нафтопродукти, а також залишки пестицидів і гербіцидів, змиті з сільськогосподарських полів. Ці речовини зараз легко окислюються і переносяться вітром і водою, що призводить до вторинного забруднення ґрунту на сусідніх територіях. Особливе занепокоєння викликає міграція радіонуклідів з мулу, який накопичився після аварії на ЧАЕС, хоча ступінь цього ризику потребує подальших досліджень [1, 5, 16, 25].

Зміна властивостей ґрунту та втрата родючості:

Після осушення ґрунту на дні колишньої водойми зазнають значних змін. Вони втрачають воду, змінюється їх структура, що може призвести до появи тріщин у ґрунті та погіршення його фізичних властивостей. Засолення ґрунту також може відбуватися в деяких районах через випаровування та підвищений вміст солей. Погіршення властивостей ґрунту та втрата поживних речовин під час ерозії може призвести до зниження природної родючості ґрунту та ускладнити подальше відновлення рослинності та сільськогосподарських угідь [5, 10].

3.3.3 Вплив на біорізноманіття

Аварія на Каховській ГЕС мала руйнівний вплив на біорізноманіття регіону, вразивши водні, напівводні та наземні екосистеми.

Риба: Масова загибель риби є одним із найзначніших наслідків катастрофи. Різке зниження рівня водосховища призвело до висихання мілководних ділянок, які стали непридатними для риби. Крім того, затоплення нижньої течії та різка зміна хімічного складу водойми також призвели до загибелі риби. Місця нересту та нагулу багатьох видів риб у водосховищі знищено. Це призведе до довгострокової шкоди структурі

рибних популяцій і завдасть величезних збитків рибній промисловості в регіоні [5, 16].

Водна рослинність Каховського водосховища, адаптована до умов штучних водойм (наприклад, осока, латаття, очерет у прибережній зоні), була майже повністю знищена внаслідок осушення. Натомість у водозбірній площі дна водосховища спостерігається процес природної сукцесії та відновлення рослинності. Ця земля була затоплена десятиліттями і є історичною територією Великого Лугу (унікальної заплавної екосистеми Дніпра). Сьогодні починають з'являтися піонерні види, типові для заплав, такі як верби, очерет та інші гідрофільні трави, що дає надію на ревіталізацію частин історичного ландшафту. Проте все ще існує ризик поширення інвазивних видів рослин, які можуть захопити вододіл швидше, ніж місцеві рослини, і порушити природні процеси відновлення [5, 9, 16].

Водосховище було важливим місцем гніздування, пошуку їжі та міграції багатьох водоплавних та берегових птахів. Руйнування середовища існування призвело до втрати місць гніздування та джерел їжі для птахів, змушуючи їх мігрувати в інші райони або спричиняючи їхню загибель. Для наземних тварин, які живуть у прибережних районах або проходять через водойму, катастрофа призвела до переривання міграційних шляхів, зміни середовища проживання та загибелі великої кількості особин, які не змогли вибратися з бурхливих вод [5, 16, 27].

Від стихії постраждали цінні заповідні території, особливо частини національних природних парків і регіональних ландшафтних парків. Затоплення або висихання цих територій призвело до руйнування унікальних екосистем і зникнення охоронюваних рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин. Це завдало непоправної шкоди Українському фонду охорони природи [5, 16, 27, 30].

3.3.4 Соціально-економічні та гуманітарні наслідки екологічної катастрофи

Екологічна катастрофа, спричинена вибухом на Каховській ГЕС, не лише принесла регіону та країні в цілому стихійне лихо, а й мала далекосяжні соціально-економічні та гуманітарні наслідки.

Вплив на населення та гуманітарні наслідки

Затоплення населених пунктів, вимушена евакуація, втрата будинків і майна:

Різке підвищення рівня води в нижній течії Дніпра призвело до підтоплення десятків населених пунктів Херсонської області, в тому числі значної частини міста Херсона. Тисячі людей були змушені терміново евакуюватися, багато хто втратив домівки. Постраждало майно та засоби до існування. Це спричинило серйозну гуманітарну кризу, включаючи проблеми з розміщенням, харчуванням та медичним обслуговуванням. Більшість затоплених територій залишаються непридатними для проживання або потребують масштабної реконструкції [15, 16, 20].

Проблеми зі здоров'ям, пов'язані з забрудненням води та навколишнього середовища:

Втеча зі сміття, кладовищ, сільськогосподарських хімікатів та інших токсичних речовин може забруднити питну воду, створюючи серйозну загрозу для здоров'я населення. Зростає ризик спалахів інфекційних захворювань, що передаються через воду (холера, гепатит А, кишкові інфекції). Крім того, пилові бурі на дренажних територіях можуть спровокувати респіраторні захворювання, а контакт із забрудненим ґрунтом і водою може призвести до захворювань шкіри та інших хронічних захворювань [16, 25, 29].

3.3.5 Шкода сільському господарству та економіці області

Втрата зрошуваних земель і зниження врожайності:

Каховське водосховище є важливим джерелом води для зрошення приблизно 500 000 га сільськогосподарських угідь на півдні України. Руйнування водосховища фактично знищило зрошувальну систему та загрожувало повним згортанням сільськогосподарського виробництва в регіоні, який є одним із основних виробників овочів, фруктів та зернових. У 2023 році підтоплення та пересихання земель призвели до зниження врожайності, завдавши величезних прямих збитків аграріям та державі [3, 4, 16, 21].

Шкода рибному господарству та іншим галузям господарства, пов'язаним з водою:

Знищення рибних запасів і нерестовищ водосховища завдало величезних збитків рибному господарству. Це торкнулося не лише промислового, а й аматорського рибальства. Крім того, були порушені порти та внутрішній річковий транспорт у пониззі Дніпра, що також мало значний вплив на економіку регіону [14, 16].

3.3.6 Вплив на культурну спадщину

Осушення дна Каховського водосховища відкрило для дослідження деякі ділянки, які десятиліттями були затоплені. До цих територій належать об'єкти культурно-історичної спадщини, такі як залишки городища Великий Луг, Січ, стародавні могили та інші археологічні пам'ятки. З одного боку, це дає унікальну можливість для археологічних досліджень і збереження цих об'єктів. З іншого боку, без належного захисту ці ділянки можуть бути зруйновані ерозією, крадіжкою або впливом атмосферних факторів [9, 16, 23, 30].

РОЗДІЛ 4. Стратегічне планування в умовах військового конфлікту і відбудова

6 червня 2023 року катастрофічний вибух на Каховській ГЕС став однією з найбільших техногенно-екологічних катастроф, спричинених повномасштабною збройною агресією Російської Федерації проти України. Вибух призвів до неконтрольованого викиду води з Каховського водосховища, завдавши безпрецедентних збитків і викликавши багатогранну кризу на півдні України. Основним наслідком вибуху стала масштабна повінь, яка затопила десятки населених пунктів Херсонської області, спровокувавши серйозну гуманітарну кризу, яка потребувала негайних дій [15, 16, 20].

Каховська гідроелектростанція є важливою складовою Дніпровського каскаду і відіграє ключову роль у забезпеченні життєдіяльності цього важливого регіону. Хоча це п'ята за величиною гідроелектростанція в Україні, її стратегічне значення виходить далеко за межі виробництва електроенергії. Гідроелектростанція відіграє важливу роль у регулюванні кількості води в Дніпрі, що має вирішальне значення для забезпечення водопостачання та зрошення сільськогосподарських угідь традиційно посушливого південного регіону. До руйнування водосховища воно було основою для Каховської меліоративної території, що дало можливість вести велике інтенсивне сільське господарство [3, 21].

Окрім аграрного сектору, Каховська ГЕС також є життєво необхідною для безпечної роботи Запорізької атомної електростанції (ЗАЕС). Водосховище є основним джерелом води для водосховищ-охолоджувачів ЗАЕС і потребує постійного поповнення для забезпечення його безпечної експлуатації. Аварія на дамбі створює додаткові ризики для ядерної безпеки та привернула увагу міжнародної спільноти. Дамба також забезпечує річкову навігацію, що надзвичайно важливо для логістики в аграрному секторі та для транспортування вантажів по Дніпру з Києва до чорноморських портів і навпаки. Тому руйнація Каховської ГЕС – це не просто руйнація

енергетичного об'єкта, а руйнація складної системи життєзабезпечення регіону, що ставить безпрецедентні виклики для відновлення та відбудови України [3, 11, 14, 15].

4.1. Економічні збитки та потреби у фінансуванні

Руйнування Каховської дамби завдав Україні безпрецедентних і зростаючих економічних збитків. За попередніми оцінками, загальні прямі та непрямі збитки держави та її громадян перевищують 11 мільярдів доларів. Ця астрономічна цифра включає не тільки пошкодження самої дамби, але й масштабні втрати в ключових секторах економіки, деградацію інфраструктури та екологічні наслідки, які призвели до величезних економічних втрат [17, 18, 25].

Потрібні значні фінансові ресурси для закриття надзвичайних потреб і початку відновлювальних робіт у постраждалих районах. Як повідомляють українські новини, постраждалим районам терміново необхідно близько \$1,8 млрд для проведення відновлювальних робіт. Ці кошти будуть спрямовані на ліквідацію прямих наслідків, надання гуманітарної допомоги, забезпечення питною водою, розмінування та першочергові ремонтні роботи [12, 14, 15].

Найбільше постраждав агропромисловий комплекс (АПК) півдня України, який традиційно покладався на зрошення з Каховського водосховища. Через руйнування греблі було порушено водопостачання 31 зрошувальної системи в Дніпропетровській, Херсонській та Запорізькій областях, що поставило під загрозу сільськогосподарське виробництво на великих площах [21, 29].

У Херсонській області було підтоплено близько 10 тис. га сільськогосподарських угідь, що призвело до втрат врожаю та деградації ґрунтів. Катастрофа також мала руйнівні наслідки для промисловості рибальства та аквакультури, спричинивши загибель великої кількості риби та водних ресурсів. Довгострокова проблема з забезпеченням водними

ресурсами включатиме зміну схеми сівозміни, перехід на менш водоємні культури або розробку альтернативних систем водопостачання, усе це вимагатиме додаткових інвестицій та часу [19, 20, 21].

Збиток також включає руйнування будинків, критичної інфраструктури, доріг, транспортних мереж і промислових об'єктів. Ремонт цих об'єктів вимагатиме масштабних будівельних проектів, які оцінюються в мільярди доларів [15, 17, 18].

Таблиця 4. 1. Оцінка економічних збитків від підриву Каховської ГЕС

Тип збитку	Оцінка (у доларах США)	Джерело інформації (номер)	Примітки
Загальні збитки	> \$11 млрд	[2]	Попередня оцінка, що охоплює різні сектори економіки
Негайні потреби для відновлення територій	\$1.8 млрд	[15]	Сума, необхідна на першочергові заходи з ліквідації наслідків
Збитки АПК (сільське господарство)	Не вказано окремо, але значні	[21]	Включають втрату зрошення, загибель врожаю, деградацію ґрунтів
Втрати зрошуваних земель	~500 тис. га	[20]	Площа земель, що втратили доступ до зрошення з водосховища
Затоплені сільськогосподарські землі	10 тис. га	[21]	Лише частина загальних затоплених агроземель

(правобережжя Херсонщини)			
Втрати для рибного господарства	Не вказано окремо, але значні	[16]	Оцінка потребує спеціальних рибогосподарських досліджень
Збитки від руйнування гідроенергетичної інфраструктури	Включені в загальні збитки	[18, 22]	Прямі збитки від руйнування ГЕС та її компонентів

4.1.1 Екологічні наслідки та екоцид

Демонтаж Каховської ГЕС вважається екоцидом – масштабним умисним знищенням природного середовища з катастрофічними та незворотними наслідками. Масштаби такого руйнування навколишнього середовища є безпрецедентними в Україні та, на думку експертів, призвели до екологічної катастрофи глобального масштабу [5, 16, 25, 27].

Найбільш очевидним і серйозним наслідком є зникнення Каховського водосховища, одного з найбільших штучних водойм в Україні. Через 14 днів після руйнування дамби водосховище майже повністю зникло, залишилося лише оголене дно, що повністю змінило рельєф регіону. Донні організми в цих водозбірних басейнах зникли, а деякі колишні водойми перетворилися на рибні ставки, що спричинило загибель гідробіонтів. Така ситуація спричинила вторинне забруднення води внаслідок розкладання біомаси [5, 9, 16, 27].

Катастрофічні повені вразили значні території нижньої течії Дніпра, особливо Херсонську область, що призвело до масового зникнення багатьох видів, у тому числі рідкісних та тих що під охороною міжнародним

законодавством. Знищення природних середовищ існування, таких як заплави та водно-болотні угіддя, призвело до серйозної втрати біорізноманіття, а також знищило унікальну екосистему нижньої течії Дніпра. Крім того, неконтрольоване затоплення змиває велику кількість сміття, токсичних матеріалів і навіть мін навколо гідроелектростанцій, створюючи додаткову загрозу для людей і навколишнього середовища. Вплив повеней на Чорне море також значний. Велика кількість прісної води та забруднювачів вийшла з водойм і заправ, що спричинило евтрофікацію (надмірне збагачення поживними речовинами), поширення ціанобактерій і зміни солоності в північно-західній частині Чорного моря. Це загрожує морським екосистемам і рибним запасам [5, 16, 25, 27].

Довгострокові екологічні ризики включають: подальше опустелювання південних степів через відсутність зрошення; зміни мікроклімату; поширення чужорідних рослин на дні осушених водойм; і можливе посилення піщаних бур. На відновлення природного балансу знадобляться десятиліття, і багато процесів можуть бути незворотними [5, 9, 16, 27].

4.2 Дилема відбудови: аргументи "за" та "проти"

Аварія на Каховській ГЕС поставила Україну перед надзвичайно складним вибором: відновлювати пошкоджену інфраструктуру чи шукати альтернативні рішення з їхніми безпрецедентними наслідками та ризиками для безпеки? Це питання потребує комплексного аналізу, який враховує не лише економічні витрати та вплив на навколишнє середовище, а й довгострокові перспективи регіонального розвитку та національної безпеки [3, 4, 13].

4.2.1 Аргументи на користь відбудови (або будівництва нової ГЕС)

Прихильники реконструкції походять переважно з аграрного та енергетичного секторів, які наголошують на тому, що гідроелектростанція є

необхідною для життя на півдні. Головний їхній аргумент – відновлення зрошення, яке вкрай необхідно для сільського господарства півдня України. Після руйнування ГЕС було відключено 31 зрошувальну систему в Дніпропетровській, Херсонській та Запорізькій областях, що загрожує сільськогосподарському виробництву на значних площах і може призвести до опустелювання регіону. Без зрошення великі масиви родючої землі більше не будуть придатні для вирощування різноманітних культур, що загрожує продовольчій безпеці та економічному добробуту фермерів. Незважаючи на те, що Каховська ГЕС не є найбільшим джерелом електроенергії (при встановленій потужності близько 334 МВт, на неї припадає менше 1% загального енергетичного балансу України), вона відіграє ключову роль у регулюванні стоку Дніпра, що має важливе значення для роботи всього Дніпровського каскаду [3, 8, 15].

Енергетики зазначають, що «без відновлення Каховської ГЕС будь-яке реальне рішення обійдеться в рази дорожче і займе більше часу». Реконструкція відновить її регулюючі функції та забезпечить додаткове виробництво електроенергії, що вкрай необхідно в умовах руйнування енергетичної інфраструктури України. Крім того, відновлення гідроелектростанції розглядається як потужний символ національного відродження та стійкості перед обличчям розрухи, спричиненої повномасштабною агресією. Реконструкція також відновить річкове судноплавство, яке має вирішальне значення для логістики та транспортування вантажів у сільськогосподарському секторі [3, 14, 15].

4.2.2. Аргументи проти відбудови (або за альтернативні рішення)

Екологи та деякі експерти з безпеки активно виступають проти реконструкції Каховської ГЕС у первісному вигляді або принаймні підтримують пошук альтернативи. Головний аргумент – знищення водойми завдасть незворотної шкоди навколишньому середовищу. Екологи

наголошують, що зникнення водойми та масова втрата біоресурсів призвели до змін екосистеми, а спроби відновлення екосистеми можуть принести нові екологічні виклики. Деякі експерти вважають, що потрібно дати природі відновити історичний ландшафт Великого Лугу, який існував на цій території до будівництва ГЕС [9, 16, 27].

Аспект безпеки є ще одним важливим аргументом. Наприклад, представники МВС заявляли про неможливість ремонту Каховської ГЕС і наголошували, що головною загрозою залишається ситуація навколо Запорізької АЕС, яка стає дедалі небезпечнішою. Реконструкція великої гідроелектростанції поблизу потенційно ворожих або окупованих територій може створити ризик повторних руйнувань та інших катастроф [11, 22].

Також йшлося про високу вартість і довгостроковість проекту реконструкції. Незважаючи на те, що уряд затвердив пілотний проект на ранніх етапах реконструкції, важливо зазначити, що будівництво нових об'єктів є надзвичайно складним, довгостроковим (за попередніми оцінками близько 6-7 років) та витратним процесом порівняно з реконструкцією існуючих об'єктів, що потребує великих капіталовкладень. Цей факт змушує шукати ефективніші та безпечніші альтернативи, можливо, більш локальні рішення з водопостачання та зрошення, а не покладатися на один великий об'єкт. Дилема реконструкції станції відображає вибір, який ми маємо зробити між відновленням нормального життя в регіоні та адаптацією до нових реалій, і завданням досягнення балансу між безпекою та екологічною стійкістю [5, 6, 12].

4.3 Стратегічне планування та фінансове забезпечення відбудови

Реконструкція Каховської ГЕС – надскладне стратегічне завдання, яке потребує багатомільярдних інвестицій, спільних внутрішніх і міжнародних зусиль. Планування цього процесу здійснюється на тлі безпрецедентних викликів, спричинених війною, що триває, та її наслідками.

4.3.1. Вітчизняні та міжнародні ініціативи

Уряд України усвідомлює життєву важливість Каховської ГЕС для південного регіону і активно розробляє стратегію реконструкції станції. Однією з ключових ініціатив стало прийняття Кабінетом Міністрів України постанови про започаткування проекту з реконструкції Каховської ГЕС. Це рішення демонструє рішучість України проводити підготовчу роботу, незважаючи на військові дії та значні ризики. За попередніми оцінками, основний етап підготовчих робіт може тривати півтора-два роки і включає проектування, підготовку майданчика та будівництво інфраструктури [6, 12].

На міжнародному рівні Україна активно шукає підтримки з боку партнерів. Руйнування Каховської ГЕС обговорюється на міжнародних конференціях і платформах для відновлення України. Міжнародні організації, такі як ООН, Європейський Союз, Світовий банк та різноманітні донорські фонди, висловили намір взяти участь у проекті реставрації, розуміючи його гуманітарну, економічну та екологічну значимість. Проте конкретний план проекту та розмір міжнародної допомоги ще обговорюються [13, 17, 18, 25, 27].

4.3.2. Механізми фінансування та джерела фінансування

Масштаби шкоди величезні, і потребують мільярдів доларів інвестицій. За попередніми розрахунками Укргідроенерго, вартість будівництва нової Каховської ГЕС може сягнути до 1,2 млрд доларів США. Однак це не включає пов'язані витрати на відновлення сільського господарства, забезпечення населення водою та усунення впливу на навколишнє середовище. Ці витрати оцінюються набагато вищими, а загальний збиток перевищує 11 мільярдів доларів [17, 18, 25].

Проект фінансуватиметься:

- Державний бюджет України: незважаючи на тиск війни, держава виділяє кошти на першочергові роботи та підготовчі етапи на основі рішень уряду [6, 12].
- Міжнародна фінансова підтримка. Україна спирається на гранти та позики міжнародних фінансових інституцій (Світовий банк, Європейський банк реконструкції та розвитку та ін.) та двосторонню допомогу країн-партнерів [17, 18, 25].
- Репарації від Російської Федерації та конфісковані російські активи: Україна активно працює над створенням міжнародного механізму стягнення репарацій та використання заморожених російських активів для відновлення. Успіх цього механізму стане важливим джерелом фінансування для України [26, 28].
- Приватні інвестиції та державно-приватне партнерство: у довгостроковій перспективі приватні компанії можуть бути залучені, особливо у сфері будівництва інфраструктури та виробництва електроенергії.

4.3.3. Виклики та перспективи

Військовий конфлікт, що триває, залишається серйозним викликом для стратегічного планування та фінансування. Проблеми безпеки унеможливають будівництво повномасштабних об'єктів у потенційно ворожих районах. Ризик повторного пошкодження або погіршення стану території навколо Запорізької АЕС (яка спирається на Каховське водосховище) також створює додаткові перешкоди для планування та залучення інвестицій [10, 11, 22].

Крім викликів безпеки, існують екологічні проблеми. Комплексна екологічна оцінка є важливою, оскільки нові об'єкти повинні враховувати зміни в екосистемах після пошкодження та мінімізувати подальший негативний вплив на навколишнє середовище [9, 27].

Перспектива відбудови Каховської ГЕС тісно пов'язана з майбутнім визволенням України та закінченням війни. Незважаючи на виклики, відновлення цієї інфраструктури є важливою частиною довгострокової стратегії України з відродження економіки, забезпечення регіонального розвитку та зміцнення національної енергетичної та продовольчої безпеки [3, 4, 13].

Висновки

У дослідженні комплексно проаналізувала ландшафтно-екологічний вплив руйнування Каховської ГЕС на водні ресурси південного сходу України та окреслено напрямки стратегічного планування відновлення та трансформації водних ресурсів в умовах військового конфлікту.

Результати дослідження показали, що Каховська ГЕС є не тільки енергетичним об'єктом, а й важливою частиною інтегрованої водогосподарської системи, яка забезпечує іригацію, водопостачання та навігацію для мільйонів жителів і величезних сільськогосподарських угідь. Руйнування гідроелектростанції є актом екологічної деструкції, який призвів до системного руйнування інфраструктури та функцій екосистеми в регіоні.

Каховське водосховище та його околиці становлять унікальну екосистему з унікальною водною структурою, розвиненою системою зрошення та особливим землекористуванням. Ця основа допоможе об'єктивно оцінити масштаби подальших втрат.

За допомогою супутникових даних та картографічної інформації детально вивчено зміни гідрологічної ситуації та водних ресурсів регіону після обрушення дамби. Методи дистанційного зондування (особливо аналіз зображень Sentinel-2) та ГІС-аналіз виявили значні зміни: водосховище від повністю заповненого (2150 км²) стало майже повністю осушеним, залишилося лише кілька квадратних кілометрів русла Дніпра. Візуалізація та виявила масштаб трансформації ландшафту та відновлення історичного русла.

Дані дистанційного зондування ефективно симулювали зміни ландшафту до та після катастрофи, дозволяючи нам чітко візуалізувати зміни в гідрологічному профілі водойми та визначати зміни у вододілі та береговій лінії, що стало важливим інструментом для майбутнього моніторингу та прогнозування. Планування.

Знищення водогосподарських об'єктів під час збройного конфлікту, що триває, становить стратегічну загрозу екологічній безпеці та водопостачанню. У дослідженні визначено основні проблеми у водозабезпеченні населення та сільського господарства південного регіону, а також вплив на Запорізьку атомну електростанцію. У дослідженні наголошується, що катастрофа є актом екоциду з національними та міжнародними наслідками, і винні мають бути притягнуті до відповідальності.

У роботі розглядаються два майбутні варіанти розвитку – реконструкція водосховища та відновлення річки Велика Ругер – і обговорюються їхні відповідні переваги та недоліки. У дослідженні підкреслюється важливість постійного екологічного моніторингу, дезактивації забруднених територій та міжнародної співпраці для забезпечення довгострокової реконструкції та сталого розвитку регіону.

Результати підкреслюють, що руйнування Каховської ГЕС є багатофакторною катастрофою і що вирішення проблем реконструкції потребує комплексного наукового підходу. Майбутні варіанти для цих регіонів мають ґрунтуватися на ретельному екологічному, економічному та соціальному аналізі з урахуванням потреб людини та здатності природних екосистем до самовідновлення.

Перелік літературних джерел:

1. Вишневецький В.І. Гідрологія Дніпра. Київ: Ніка-Центр, 2003. 416 с.
2. Державне агентство водних ресурсів України (ДАВР). Офіційний сайт. URL: <https://www.davr.gov.ua/> (дата звернення: 11.06.2025).
3. Енциклопедія сучасної України. Каховське водосховище. URL: <https://esu.com.ua/article-97426> (дата звернення: 10.06.2025).
4. Ігнатова М.Ю., Козіна О.В. Рослинний світ Нижнього Дніпра: сучасний стан та охорона. Херсон: Айлант, 2015. 200 с.
5. Життя після підриву Каховської ГЕС: новий початок. EOS.com. 2023. URL: <https://eos.com/uk/blog/zhyttia-pislia-pidryvu-kakhovskoi-hes-novy-i-pochato-k/> (дата звернення: 10.06.2025).
6. Кодекс України "Кримінальний кодекс України" від 05.04.2001 № 2341-III. Відомості Верховної Ради України. 2001. № 25-26. Ст. 131. (Див. статтю 441 "Екоцид"). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14> (дата звернення: 11.06.2025).
7. Красюк М.С. Іхтіофауна Дніпровського водосховища: сучасний стан та перспективи. *Рибне господарство України*. 2019. № 2. С. 36-42.
8. Лаврик Ю.В. Дистанційне зондування Землі. Методи та застосування: Навчальний посібник. Київ: Видавничий дім "Слово", 2017. 320 с.
9. Малащенко О. Великий Луг: що з ним відбувалося і що буде далі. *Українська правда. Життя*. 2023. URL: <https://life.pravda.com.ua/columns/2023/06/10/254707/> (дата звернення: 11.06.2025).
10. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/> (дата звернення: 11.06.2025).
11. Національний атлас України. Київ: ДНВП "Картографія", 2007. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/publications/Pages/Atlas.aspx> (дата звернення: 10.06.2025).
12. Підрив Каховської ГЕС: на негайні потреби для відновлення територій треба 1,8 мільярда. *Укрінформ*. 2023. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3775188-pidriv-kahovskoi-ges-na-negajni-potrebi-dla-vidnovlennja-teritorij-treba-182-milarda.html> (дата звернення: 10.06.2025).
13. Прістлі Дж. Загальна теорія систем: погляд на філософські проблеми. М.: Прогресс, 1970. 256 с.

14. Полянський Ю.І. Екоцид як міжнародний злочин: проблеми кваліфікації та відповідальності. *Часопис Київського університету права*. 2017. № 3. С. 136-140.
15. Скільки коштуватиме відбудова Каховської ГЕС і скільки це займе часу? Є відповідь “Укргідроенерго”. *Novynarnia.com*. 2023. URL: <https://novynarnia.com/2023/06/06/skilky-koshtuvatyme-vidbudova-kahovskoyi-ges-i-skilky-cze-zajme-chasu-ye-vidpovid-ukrgidroenergo/> (дата звернення: 17.06.2024).
16. Українська природоохоронна група (UNCG). Знищення Каховського водосховища: наслідки для довкілля. 2023. URL: <https://uncg.org.ua/znyshhennya-kahovskogo-vodoshovyssha-naslidky-dlya-dovkillya/> (дата звернення: 11.06.2025).
17. Уряд затвердив постанову про експериментальний проєкт з початку відбудови Каховської ГЕС, - Прем'єр-міністр. *Урядовий портал*. 2023. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyyv-postanovu-pro-eksperymentalnyi-proekt-z-pochatku-vidbudovy-kakhovskoi-hes-premier-ministr> (дата звернення: 17.06.2024).
18. У МВС заявили, що Каховську ГЕС не можна відновити, а головною загрозою є ситуація навколо ЗАЕС. *Рубрика*. 2023. URL: <https://rubryka.com/2023/08/19/u-mvs-zayavyly-shho-kahovsku-ges-ne-mozhna-vidnovyty-a-golovnoyu-zagrozoyu-ye-sytuatsiya-navkolo-zaes/> (дата звернення: 17.06.2024).
19. Шевчук В.Я., Саталкін С.В. Екологічні проблеми Дніпровського каскаду водосховищ. Київ: Інтертехнологія, 2005. 240 с.
20. Які землі затопить після підриву Каховської ГЕС. Карта. *Agropravda.com*. 2023. URL: <https://agropravda.com/news/agrobiznes-life/20333-jaki-zemli-zatopit-pislja-pidrivu-kahovskoi-ges-karta> (дата звернення: 17.06.2024).
21. Які збитки АПК від руйнування Каховської ГЕС. *Agropolit.com*. 2023. URL: <https://agropolit.com/cards/11-kahovska-ges-naslidki-dlya-agrosektoru-ta-udar-po-ekologiyi-ukrayini> (дата звернення: 17.06.2024).
22. Як підриву Каховської ГЕС вплине на Запорізьку АЕС: відповідь експерта. *УНІАН*. 2023. URL: <https://www.unian.ua/economics/energetics/yak-pidriv-kahovskoji-ges-vpline-na-zaporizku-aes-vidpovid-eksperta-12283458.html> (дата звернення: 17.06.2024).
23. Humanitarian Impact of the Kakhovka Dam Destruction. OCHA (UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs). 2023. URL:

<https://www.unocha.org/ukraine/kakhovka-dam-destruction> (дата звернення: 11.06.2025).

24. Sentinel-2 User Handbook. European Space Agency (ESA). URL: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.pdf (дата звернення: 11.06.2025).

25. The Kakhovka Dam destruction: A blow to Ukraine's ecosystem. *Yale Environment 360*. 2023. URL: <https://e360.yale.edu/features/kakhovka-dam-destruction-ukraine-ecosystem> (дата звернення: 11.06.2025).

26. UNEP (Програма ООН з навколишнього середовища). Environmental implications of the war in Ukraine. URL: <https://www.unep.org/> (дата звернення: 11.06.2025). (Якщо знайдете конкретний звіт, вкажіть його повну назву та рік).

27. UNEP. Post-conflict environmental assessment: Methodology and case studies. Nairobi: UNEP, 2007. URL: <https://www.unep.org/resources/report/post-conflict-environmental-assessment-methodology-and-case-studies> (дата звернення: 10.06.2025).

28. UNEP. Protecting the environment during armed conflict: An inventory and analysis of international law. Nairobi: UNEP, 2009. (Шукати на офіційному сайті UNEP).

29. Westing, A. H. Environmental warfare: A technical, legal and policy appraisal. London: Taylor & Francis, 1984.

30. World Bank Group, Government of Ukraine, United Nations, European Union. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3). 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/ukraine/publication/ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment-rdna3> (дата звернення: 11.06.2025).