



## Анотація

У дипломній роботі досліджуються екологічні наслідки руйнування греблі Оскільського водосховища, яке сталося у вересні 2022 року внаслідок бойових дій на Харківщині. Основною метою дослідження є виявлення масштабів і характеру змін у природному середовищі, спричинених цією подією, з використанням методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

У вступних розділах розглянуто типи катастрофічних явищ, зокрема техногенні аварії, до яких відносять руйнування гідротехнічних споруд. Наведено приклади подібних інцидентів у світі (Китай, Бразилія, Лаос, Україна), що підкреслює важливість порушеної проблематики. Значну увагу приділено причинно-наслідковим зв'язкам у контексті руйнації гребель, аналізу екологічних загроз для флори, фауни, якості води, ґрунтів і стабільності екосистем.

Об'єктом дослідження виступає територія Оскільського водосховища, яке до руйнування виконувало важливу роль у водопостачанні, зрошенні, енергетиці та підтриманні природного балансу у східних регіонах України. У роботі проведено аналіз історії створення водосховища, його технічних параметрів і функціонального значення.

Методична частина базується на аналізі супутникових знімків Sentinel-2 (програма Copernicus) у сервісі Copernicus Browser із використанням спектральних індексів NDWI (водний індекс), NDVI (індекс рослинності) та SWIR (короткохвильовий інфрачервоний канал). Отримані результати показують чітке скорочення площі водного дзеркала, втрату прибережної рослинності, осушення ґрунтів і зміни в гідрологічному режимі. Також зафіксовано порушення природних місць нересту риб, міграцій птахів, активізацію ерозійних процесів та загальне зниження біорізноманіття.

<b>Зміст</b>	
<b>Вступ</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ КАТАСТРОФІЧНИХ ЯВИЩ ТА НАСЛІДКИ РУЙНУВАННЯ ГРЕБЕЛЬ</b> .....	7
1.1. Класифікація катастрофічних явищ.....	7
1.2. Причини та наслідки руйнування гребель.....	11
1.3. Можливі екологічні наслідки для флори і фауни .....	17
<b>РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СТАНУ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА</b> .....	19
2.1. Історія створення та функціонування Оскільського водосховища .....	19
2.2. Фізико-географічна характеристика території водосховища .....	21
2.3. Зміни екологічних умов після руйнування греблі.....	23
<b>РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ ОСКІЛЬСЬКОЇ ГРЕБЛІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДЗЗ</b> .....	26
3.1. Використання даних дистанційного зондування для аналізу змін.....	26
3.2. Аналіз наслідків руйнування за космічними знімками.....	28
3.3. Наслідки для водного і навколишнього середовища .....	30
3.4. Заходи з відновлення водних та прибережних екосистем .....	32
<b>Висновки</b> .....	35
<b>Додатки</b> .....	37
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	43

## Вступ

### Актуальність теми

Проблема катастрофічних руйнувань, що впливають на природне середовище, набуває все більшої актуальності в умовах зростання кількості техногенних і природних катаклізмів у світі. Сучасна екологічна ситуація ускладнюється як внаслідок глобальних змін клімату, так і через воєнні дії, які супроводжуються масштабним руйнуванням інфраструктури, забрудненням довкілля та втратою екологічної рівноваги. Особливо гостро ця проблема постає для України, яка з 2022 року опинилася в епіцентрі повномасштабної війни. У ході бойових дій відбуваються цілеспрямовані атаки на об'єкти критичної інфраструктури, у тому числі гідротехнічні споруди, що призводить до значних і часто незворотних змін у навколишньому середовищі.

Яскравим прикладом таких руйнівних екологічних наслідків є знищення Оскільської греблі, що знаходилася на річці Оскіл у Харківській області. Водосховище, яке вона утримувала, мало важливе регіональне значення — його використовували для водопостачання, зрошення, енергетичних потреб, а також як елемент екосистемної стабільності. Після підриву греблі значна частина водосховища була осушена, внаслідок чого порушився гідрологічний режим, почалися процеси деградації прибережних біотопів, змінилися умови існування водної та навколводної флори і фауни, виникли загрози опустелювання окремих ділянок. Ці зміни потребують наукового осмислення, адже їхні наслідки можуть бути довготривалими та мати кумулятивний ефект.

Світова практика свідчить про те, що руйнування гідротехнічних споруд може мати катастрофічні наслідки. Наприклад, трагедія у Брумадіньо в Бразилії (2019 рік) призвела до загибелі понад 250 осіб і масштабного забруднення річкової системи важкими металами. Подібні події фіксувалися також у Китаї, Індії, Індонезії та інших країнах, де прорив дамб чи гребель викликав великі людські жертви та знищення екосистем. Ці приклади

демонструють, що подібні явища не є поодинокими, а їх дослідження має важливе значення як на локальному, так і на глобальному рівні.

Водночас варто зазначити, що в умовах війни польові дослідження часто є неможливими або надзвичайно обмеженими. Саме тому важливу роль у вивченні екологічних наслідків катастроф відіграють сучасні методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС). Завдяки супутниковому моніторингу можна оперативно отримувати інформацію про стан територій, масштаби руйнувань та зміни в природному середовищі без необхідності безпосередньої присутності на місці. Дані, отримані з супутників Sentinel-1, Sentinel-2 через платформу EO Browser, а також інструменти Google Earth Pro дають змогу візуалізувати зміни у водному дзеркалі, оцінити стан рослинного покриву, спостерігати за динамікою розвитку деградаційних процесів.

Актуальність обраної теми також визначається необхідністю розвитку вітчизняного наукового підходу до вивчення так званої «воєнної екології» - напряму, що донедавна був малорозвинений в українському науковому просторі. Сучасні події продемонстрували, що існує нагальна потреба у формуванні системи моніторингу та реагування на екологічні наслідки воєнних дій. Вивчення досвіду інших країн, використання даних ДЗЗ та розвиток аналітичних підходів мають стати основою для створення ефективної системи запобігання та мінімізації наслідків екологічних катастроф.

Отже, актуальність теми обумовлюється такими ключовими чинниками:

- масштабністю екологічних змін, викликаних руйнуванням Оскільської греблі;
- складністю та багатогранністю впливу катастрофи на гідрологічні, біологічні та ландшафтні компоненти довкілля;
- значущістю водосховища для функціонування екосистем і господарства регіону;
- можливістю застосування сучасних методів дистанційного зондування та геоінформаційного аналізу для дослідження змін.

**Метою** роботи є здійснити дистанційний моніторинг екологічних змін довкілля, що сталися внаслідок руйнування Оскільської греблі.

**Об'єктом дослідження** є Оскільське водосховище, його екологічний стан та зміни, що сталися внаслідок руйнування греблі.

**Предметом дослідження** є методи ДЗЗ для аналізу екологічних змін, що сталися внаслідок руйнування Оскільської греблі.

У процесі дослідження було використано такі основні методи наукового дослідження:

- геоінформаційний аналіз супутникових знімків з використанням EO Browser та Sentinel Hub;
- візуальне порівняння та дешифрування мультиспектральних зображень у фільтрах True Color, NDWI, SWIR, NDVI;
- порівняльний метод, що дозволив оцінити зміни у ландшафтах та водному балансі в динаміці (2021–2025);
- аналіз вторинних джерел — наукової літератури, аналітичних звітів, картографічних матеріалів;
- метод системного підходу, що дав змогу розглядати екосистему водосховища як складний багатофункціональний природно-антропогенний об'єкт.

Завдання:

1. Проаналізувати вплив техногенних катастроф у світі на навколишнє середовище
2. Проаналізувати стан Оскільського водосховища до та після руйнування греблі, використовуючи знімки ДЗЗ.
3. Вивчити фізико-географічні характеристики Оскільського водосховища та зміни екологічних умов після руйнування
4. Підібрати матеріали Дистанційного зондування землі для аналізу стану Оскільського водосховища
5. Проаналізувати супутникові дані різними методами Дистанційного зондування землі.

## РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ КАТАСТРОФІЧНИХ ЯВИЩ ТА НАСЛІДКИ РУЙНУВАННЯ ГРЕБЕЛЬ

### 1.1. Класифікація катастрофічних явищ

У сучасному світі катастрофічні явища стають все більш частими та руйнівними, що пов'язано як з природними процесами, так і з антропогенним впливом. Визначення та класифікація таких явищ є важливим етапом для розуміння їх природи, прогнозування наслідків та розробки заходів з їх запобігання. У даному розділі розглядаються основні підходи до класифікації катастрофічних явищ, що дозволить у подальшому провести детальний аналіз наслідків руйнування Оскільської греблі.

Сучасна наука пропонує кілька ключових критеріїв для класифікації катастрофічних явищ. Найпоширенішим є поділ за походженням, запропонований UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) [1]. Відповідно до цієї класифікації, катастрофи поділяються на:

- **Природні (стихійні лиха)** – викликані природними процесами, такими як землетруси, повені, урагани, посухи тощо. Вони характеризуються непередбачуваністю та масштабністю наслідків.
- **Техногенні** – спричинені діяльністю людини, зокрема аваріями на промислових об'єктах, транспортними катастрофами, руйнуванням інженерних споруд (наприклад, гребель). Такі події часто мають довгостроковий вплив на довкілля.
- **Соціогенні (антропогенні)** – пов'язані з соціальними процесами, такими як війни, епідемії, масові міграції. Вони можуть посилюватися природними чи техногенними факторами.

Важливим аспектом є також масштаб впливу катастрофи. За даними EM-DAT International Disaster Database [2], катастрофи поділяються на:

- **Локальні** – обмежені певною територією (наприклад, обвал невеликої дамби).

- **Регіональні** – впливають на великі території (як руйнування Каховської ГЕС у 2023 році).
- **Глобальні** – мають наслідки для всієї планети (наприклад, кліматичні зміни, які посилюються через антропогенний вплив).

Класифікація за часовими параметрами, запропонована в 2013 році вченим-екологом Кейт Сміт, дозволяє виділити:

- **Раптові катастрофи** (наприклад, землетруси, вибухи) – мають короткий час розвитку, але високий руйнівний потенціал.
- **Поступові катастрофи** (наприклад, опустелювання, забруднення ґрунтів) – розвиваються протягом тривалого часу, що ускладнює їх своєчасне виявлення та запобігання [3]. Ця класифікація особливо актуальна для аналізу наслідків руйнування гребель, де початкова катастрофа (наприклад, прорив) може спричинити довгострокові зміни екосистем.

В Україні класифікація катастроф регламентується Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Згідно з офіційними документами [4], Постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 року № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями» (далі – Порядок класифікації) [5] встановлено чотири рівні надзвичайних ситуацій: державний, регіональний, місцевий та об'єктовий. Для визначення рівня надзвичайної ситуації встановлюються такі критерії:

1. Територіальне поширення та обсяги технічних і матеріальних ресурсів, що необхідні для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.
2. Кількість людей, які внаслідок дії уражаючих факторів джерела надзвичайної ситуації загинули або постраждали, або нормальні умови життєдіяльності яких порушено.
3. Розмір збитків, завданих уражаючими факторами джерела надзвичайної ситуації, розраховується відповідно до Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру,

затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175 [6].

**Державного рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1. Яка поширилась або може поширитися на територію інших держав.
2. Яка поширилась на територію двох чи більше регіонів України (Автономної Республіки Крим, областей, м. Києва та Севастополя), а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих регіонів, але не менш як 1 відсоток від обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація державного рівня за територіальним поширенням).
3. Яка призвела до загибелі понад 10 осіб або внаслідок якої постраждало понад 300 осіб (постраждали – особи, яким внаслідок дії уражальних чинників джерела надзвичайної ситуації завдано тілесне ушкодження або які захворіли, що призвело до втрати працездатності, засвідченої в установленому порядку) або було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 50 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби).
4. Внаслідок якої загинуло понад 5 осіб або постраждало понад 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки (оцінені в установленому законодавством порядку), спричинені надзвичайною ситуацією, перевищили 25 тис. мінімальних розмірів (на час виникнення надзвичайної ситуації) заробітної плати.
5. Збитки від якої перевищили 150 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.
6. Яка в інших випадках, передбачених актами законодавства, за своїми ознаками визнається як надзвичайна ситуація державного рівня.

**Регіонального рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1. Яка поширилась на територію двох чи більше районів (міст обласного значення) Автономної Республіки Крим, областей, а для її ліквідації необхідні 10 матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують

можливості цих районів, але не менш як 1 відсоток обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація регіонального рівня за територіальним поширенням).

2. Яка призвела до загибелі від 3 до 5 осіб або внаслідок якої постраждало від 50 до 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 1 тис. до 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.
3. Збитки від якої перевищили 15 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

**Місцевого рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1. Яка вийшла за межі території потенційно небезпечного об'єкта, загрожує довкіллю, сусіднім населеним пунктам, інженерним спорудам, а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості потенційно небезпечного об'єкта.
2. Внаслідок якої загинуло 1-2 особи або постраждало від 20 до 50 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 100 до 1000 осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 0,5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.
3. Збитки від якої перевищили 2 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

**Об'єктового рівня** визнається надзвичайна ситуація, яка не підпадає під названі вище визначення. У таблиці зведено порогові значення критерії рівнів надзвичайних ситуацій. Надзвичайна ситуація відноситься до певного рівня за умови відповідності її хоча б одному із значень наведених критеріїв. Слід враховувати: якщо внаслідок надзвичайної ситуації для відповідних порогових значень рівнів людських втрат або кількості осіб, які постраждали або зазнали порушення нормальних умов життєдіяльності, обсяг збитків не досягає встановлених значень, рівень надзвичайної ситуації приймається на ступінь менше, а для дорожньо-транспортних пригод – на два ступеня менше.

Надзвичайні ситуації класифікують за характером походження, ступенем поширення, розміром людських втрат і матеріальних збитків. Залежно від

характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначаються такі види надзвичайних ситуацій: техногенного характеру; природного характеру; соціальні; воєнні. НС техногенного характеру – це промислові, транспортні аварії (катастрофи) з вибухом, пожежі, аварії з викидом небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове руйнування споруд і будівель, аварії на інженерних мережах, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах тощо. НС природного характеру – це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті, пов'язане з небезпечним геофізичним, геологічним чи гідрологічним явищем (землетруси, повені, урагани, снігові замети та ін.), деградацією ґрунтів чи надр, пожежею у природних екологічних системах, зміною стану повітряного басейну, інфекційною захворюваністю та отруєнням людей, інфекційним захворюванням свійських тварин, масовою загибеллю диких тварин, ураженням сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками тощо [4].

## 1.2. Причини та наслідки руйнування гребель

Аварія дамби або прорив греблі - це катастрофічний тип руйнування споруди, що характеризується раповим, швидким і неконтрольованим випуском зарегульованої води або ймовірністю такого неконтрольованого випущення [7]. Згідно з міжнародним гуманітарним правом, греблі вважаються «спорудами, що містять небезпечні сили» через масовий вплив можливих руйнувань на цивільне населення та навколишнє середовище. Прориви гребель трапляються порівняно рідко, але можуть спричинити величезні збитки та втрати життя. У 1975 році прорив греблі водосховища Баньцяо та інших гребель у провінції Хенань, Китай, спричинив більше жертв, ніж будь-який інший прорив греблі в історії. Внаслідок катастрофи загинуло приблизно 171 000 людей [8].

**Основні причини руйнування дамб** Поширені причини руйнування дамби включають:

- Неякісні будівельні матеріали/технології (наприклад, гребля Глено).
- Помилка проектування водозливу (наприклад, майже руйнування греблі Глен-Каньйон, греблі Волнат-Гроув [9]).
- Зниження висоти гребеня дамби, що зменшує водоскидний стік (наприклад, дамба Саут-Форк [10]).
- Геологічна нестабільність, спричинена змінами рівня води під час заповнення або поганими геодезичними дослідженнями (наприклад, гребля Мальпассет).
- Зсув гори у водосховище (наприклад, дамба Ваджонт – не прорив дамби, але спричинив зміщення майже всього об'єму водосховища та його переповнення).
- Погане обслуговування, особливо випускних труб (наприклад, дамба Лаун-Лейк, обвал дамби Валь-ді-Става [11]).
- Екстремальний приплив (наприклад, гребля Шакідор).
- Людська, комп'ютерна або проектна помилка (наприклад, повінь на річці Баффало-Крік, водосховище Дейл-Дайк, гідроакумуюча електростанція Таум-Сак).
- Внутрішня ерозія або трубопроводи, особливо в земляних дамбах (наприклад, дамба Тетон).
- Землетруси.
- Кліматично зумовлена нестабільність ландшафту (кам'яно-льодові лавини, зсуви вічної мерзлоти, потоки уламків, повені з льодовикових озер та озер, що утворилися внаслідок зсувів) [12].

25 січня 2019 року сталася катастрофічна аварія хвостосховища залізної шахти Брумадінью, що експлуатується компанією Vale S/A. Станом на січень 2020 року кількість загиблих склала 259 осіб, а 11 людей зникли безвісти. Ця трагедія сталася через три роки після прориву хвостосховища Маріанської аварії – найважливішої катастрофи хвостосховища в історії Бразилії [13].

Тенденція до зниження вмісту вологи на поверхні та повне зникнення води у ставку з часом (2011–2019) свідчить про те, що вода поступово проникла крізь насип вниз і спричиняла ерозію фільтрації, насичуючи хвостосховище. Масштабне обвалення дамби (розтяжне руйнування) після розриву свідчить про те, що матеріали засипки вже були насичені. Вимірювання InSAR показують різке просідання дамби (в задній частині) до 30 см протягом останніх 12 місяців до обвалення дамби, що свідчить про видалення осаду з засипки. Хоча інформація про рівень стійкості хвостосховища до інфільтрації відсутня, ці дані разом вказують на те, що ерозія фільтрації (трубопроводи) є основною причиною хронічного ослаблення конструкції та, отже, внутрішнього стану «розрідження». Після обвалення повністю насичені шламові відходи стікали вниз по пологому схилу ( $3,13 \times 10^6 \text{ м}^2$ ), де 73% спочатку були вкриті деревами, травою або сільськогосподарськими угіддями. Токсичний бруд зрештою досяг річки Параопеба, подолавши 10 км, різко збільшивши концентрацію завислих твердих частинок (SPM) та токсичних хімічних елементів у річці, що негайно вплинуло на місцеві засоби існування, які залежать від його води. Річка Параопеба є головною притокою річки Сан-Франциско, другої за довжиною річки в Бразилії, яка досягає Атлантичного океану. Очікується, що екологічні наслідки цього токсичного просочування відчуватимуться по всьому басейну, особливо в річкових громадах, розташованих нижче за течією [13].

Обвалення дамби в Лаосі 2018 року сталося 23 липня 2018 року, коли дамба Саддл-Дамба D, частина більшої гідроелектростанції, що будується в провінції Чампасак на південному сході Лаосу. Обвалення дамби призвело до масових руйнувань та безпритульності місцевого населення в сусідній провінції Аттапеу. Станом на 25 вересня було підтверджено загибель 40 людей, щонайменше 98 зникли безвісти (можливо, до 1100 осіб), а ще 6600 осіб залишилися без житла [14].

6 червня 2023 року було зруйновано греблю Каховської гідроелектростанції, що призвело до масштабного затоплення територій, знищення екосистем,

загибелі флори та фауни, а також порушення водопостачання в регіоні. Ця подія вважається однією з наймасштабніших екологічних катастроф в історії України. Руйнування Каховської греблі спричинило каскад негайних екологічних наслідків. Раптовий викид води затопив величезні ділянки землі, затопивши екосистеми та витіснивши наземну флору та фауну. Багато видів опинилися в гонці з часом, намагаючись знайти безпечне місце. У деяких районах риби та водні організми раптово були витіснені на нові території, порушуючи усталені харчові ланцюги та місця розмноження. Величезний об'єм води також ніс осади та забруднюючі речовини, різко змінюючи якість води та впливаючи на здоров'я екосистем нижче за течією. Цей початковий шок для навколишнього середовища заклав основу для низки довгострокових проблем, які потребуватимуть ретельного моніторингу та управління [15].

Витіснення диких тварин стало одним із найпомітніших наслідків руйнування дамби. Через затоплення їхніх середовищ існування незліченна кількість тварин була змушена шукати притулку в інших місцях, що призвело до посилення конкуренції за ресурси в неуражених районах. Птахи, ссавці та рептилії опинилися на незнайомих територіях, що часто призводило до підвищення рівня смертності та напруження екосистем. Порушення усталених середовищ існування також створило значні труднощі для зусиль зі збереження природи, оскільки багато видів зіткнулися з загрозою втрати критично важливих місць розмноження та живлення. Довгострокове виживання цих переміщених популяцій залишається невизначеним, що підкреслює нагальну потребу в стратегіях збереження, спрямованих на відновлення та захист середовищ існування [15].

Водні екосистеми регіону зазнали найбільшого удару від руйнування дамби. Раптовий приплив води змінив характер річкового стоку, вплинувши на міграцію риб та цикли нересту. Багато водних видів, які звикли до стабільних умов, зіткнулися з труднощами адаптації до нового середовища. Підвищена каламутність та осадонакопичення ще більше погіршили якість води, що призвело до скорочення популяцій риб та біорізноманіття. Крихкий баланс

водних харчових мереж був порушений, що мало наслідки як для хижаків, так і для здобичі. Відновлення цих екосистем вимагатиме ретельного моніторингу та цілеспрямованих втручань для забезпечення відновлення водного життя та загального здоров'я річкової екосистеми [15].

Паводкові води, що вивільнилися внаслідок руйнування дамби, прокотилися по сільськогосподарських угіддях, залишаючи після себе руйнівний слід. Ерозія верхнього шару ґрунту стала нагальною проблемою, оскільки родючі землі були позбавлені своїх багатих на поживні речовини шарів. Фермери зіткнулися з складним завданням відновлення своїх засобів до існування після стихійного лиха, борючись зі зниженням врожайності сільськогосподарських культур та фінансовою невизначеністю. Втрата орних земель не лише вплинула на місцеву економіку, але й мала ширші наслідки для продовольчої безпеки в регіоні. Зусилля щодо пом'якшення ерозії ґрунтів та відновлення сільськогосподарської продуктивності матимуть вирішальне значення для підтримки громад та забезпечення сталого землекористування [15].

Зі спадом паводкових вод на перший план вийшли занепокоєння щодо забруднення води. Викид осадових порід та забруднюючих речовин з водосховища дамби створив значні ризики для якості води в районах, що знаходяться нижче за течією. Важкі метали, сільськогосподарські стічні води та інші забруднювачі потрапляли у водойми, загрожуючи здоров'ю як екосистем, так і населення, яке залежить від цих ресурсів. Забезпечення доступу до чистої та безпечної води стало пріоритетом, що вимагало комплексного моніторингу та зусиль щодо відновлення. Вирішення проблеми забруднення води є важливим не лише для відновлення навколишнього середовища, але й для захисту здоров'я та благополуччя населення [15].

Окрім впливу на навколишнє середовище, руйнування дамби мало далекосяжні соціально-економічні наслідки. Громади, які залежать від річки для існування, такі як рибальство та сільське господарство, зіткнулися з безпрецедентними викликами. Втрата інфраструктури та доступу до ресурсів порушила повсякденне життя та економічну діяльність. Переміщене населення

зіткнулося з невизначеністю та фінансовою нестабільністю, що підкреслило необхідність систем соціальної підтримки та планів економічного відновлення. Відновлення цих громад вимагатиме співпраці між урядовими установами, місцевими організаціями та міжнародними партнерами для забезпечення сталого розвитку та стійкості перед обличчям майбутніх викликів [15].

У вересні 2022 року внаслідок бойових дій було зруйновано греблю Оскільського водосховища на Харківщині. Це призвело до втрати до 70% води у водосховищі, осушення близько 9000 гектарів дна, порушення гідрологічного режиму та деградації екосистем. Одна з найбільших змін у навколишньому середовищі, що сталася через російсько-українську війну – це руйнація одного із затворів греблі Оскільського водосховища на Харківщині, що сталася 2 квітня. Близько 355,5 млн кубічних метрів води стрімко вивільнилися з водойми, викликавши підняття рівня річки Сіверський Донець і оголивши близько 9000 гектарів замуленого дна. Ми проаналізували можливі екологічні наслідки цієї події та можливі сценарії подальшої долі першого в історії України спущеного водосховища та самої річки Оскіл – другої по водності у всій Східній Україні. Підняття рівня води в річці Сіверський Донець, в яку впадає Оскіл, допомогло зупинити просування російських військ, яким досі не вдається переправитися найбільшою річкою Східної України. Однак, крім короткострокових тактичних переваг, важливих для захисту України, існують і довгострокові екологічні наслідки, які не такі однозначні.

Оскільське водосховище було створено з метою регулювання води в каналі Сіверський Донець-Донбас (підтримуючи водність у літню пору, коли річка Сіверський Донець міліє). Тобто це водосховище безпосередньо пов'язане із водозабезпеченням переважної більшості населення Донецької та Луганської областей. Тим часом кінцевим містом призначення каналу є Маріуполь. Тож стабільність подальшої роботи каналу та водопостачання регіону Донбасу опинилася під загрозою – це головний ракурс, під яким це питання розглядають державні органи влади. Водопостачання Донецької області сьогодні стало питанням, яке є предметом особливої тривоги не тільки для Компанії «Вода

Донбасу», а й для ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я ООН). Питної води позбавлені мільйони жителів України, зокрема українські громадяни тимчасово окупованих територій Донецької та Луганської області. Однак саме екологічні наслідки фактичного припинення існування Оскільського водосховища поки не отримали серйозної суспільної та медійної уваги [16].

Вік Оскільського водосховища поважний – 2022-го йому виповнюється 65 років. Воно є найбільшим водосховищем Лівобережної України; восьмим у країні за площею поверхні та за обсягом (122,6 км<sup>2</sup> та 0,474 км<sup>3</sup> відповідно). Втім, незважаючи на його солідні “габарити”, 33,5% площі водного дзеркала – мілководдя, що, з одного боку, сприятливо для нересту риби, а з іншого – це місце, де прогресує замулення. Середня кількість осадового матеріалу становить від 0,5 метра у низинах водосховища до 1 метра у його верхів'ях. Тому плеса заболочені, у них високий вміст фосфору, невисока прозорість та посередня якість води (4-й клас – обмежено придатна). У таких умовах не рідкістю стають випадки замору риби. Проте, люди змушені використовувати цю систему водопостачання, яка існує вже 65 років [16].

### 1.3. Можливі екологічні наслідки для флори і фауни

Коли відбувається раптове руйнування греблі або дамби, наслідки для навколишнього середовища можуть бути катастрофічними. Величезна маса води, що виривається назовні, несе з собою руйнування екосистем, загибель тварин і рослин, а також тривалі зміни в природному середовищі.

Однією з найбільш очевидних проблем є безпосередня загибель тварин. Потужний потік води змиває все на своєму шляху, і багато наземних тварин просто не встигають врятуватися. Риба та інші водні організми також страждають – через різкі зміни тиску, механічні пошкодження або замулення води. Наприклад, після прориву дамби Банкіао в Китаї (1975 рік) загинули тисячі тварин, а місцеві популяції риб були майже повністю знищені [17].

9 жовтня 1963 року через зсув гірської породи у водосховище греблі Вайонт утворилася гігантська хвиля, яка перелилася через край і зміла кілька сіл. Хоча сама гребля вистояла, наслідки для довкілля були катастрофічними [18]:

- **Загибель лісів і ґрунтів:** потужний потік води зруйнував великі ділянки лісу, змив родючий шар ґрунту.
- **Вплив на водні екосистеми:** мул і каміння, що потрапили в річку П'яве, знищили нерестовища риби, що призвело до різкого скорочення популяції лососевих.
- **Довгострокове замулення:** наноси перекрили русла струмків, змінивши гідрологічний режим регіону [18].

Рослинний світ також зазнає нищівного впливу. Потік води вимиває ґрунт, руйнує корені дерев і чагарників, а тривале затоплення призводить до гниття трав'яного покриву. Після зриву дамби Іденвіл у США (2020 рік) тисячі гектарів лісу загинули саме через те, що вода стояла надто довго, і рослини не змогли вижити [19]. Крім того, мул і пісок, які залишаються після повені, часто роблять ґрунт непридатним для відновлення рослинності [19].

У довгостроковій перспективі такі катастрофи можуть призвести до серйозних змін у біорізноманітті. Деякі види тварин і рослин можуть повністю зникнути з уражених територій, а їхнє місце займуть інвазивні види, які краще пристосовані до нових умов. Якщо ж гребля утримувала промислові стоки, то викид забруднюючих речовин у річки може спричинити масову загибель риби та інших водних організмів. Так, після обвалення дамби у Брумадінью (Бразилія, 2019 рік) річка Парапеба була отруєна важкими металами, що призвело до екологічної катастрофи [20]. Для більш детального вивчення можна звернутися до звітів Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD) або досліджень Всесвітнього фонду природи (WWF).

## РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СТАНУ ОСКІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

### 2.1. Історія створення та функціонування Оскільського водосховища

Оскільське водосховище, розташоване на річці Оскіл у Харківській області, є одним із найбільших штучних водойм України. Його створення було зумовлено необхідністю забезпечення стабільного водопостачання для промислових та сільськогосподарських потреб східних регіонів країни.

Будівництво Оскільського водосховища розпочалося у 1954 році в рамках реалізації масштабного проєкту з регулювання водного режиму річки Оскіл, головної притоки Сіверського Дінця. Основною метою було створення резервуару для акумуляції води, яка б використовувалася для зрошення сільськогосподарських угідь, водопостачання промислових підприємств та населення, а також для гідроенергетики. Гребля, яка утворила водосховище, була завершена у 1956 році, а будівництво всіх споруд гідровузла завершено в грудні 1957 року [21]. У 1958 році водосховище було введено в експлуатацію разом із Оскільською гідроелектростанцією (ГЕС), яка забезпечувала вироблення електроенергії для потреб регіону [21].

Передусім, водосховище було стратегічним об'єктом водопостачання. Його головна функція полягала в акумулюванні води для подальшого транспортування через систему каналів, зокрема канал Сіверський Донець — Донбас, який забезпечував питною та технічною водою промислові райони Донбасу — один із найбільших промислових регіонів України. Це водосховище працювало як регулюючий вузол, забезпечуючи необхідний обсяг води в умовах сезонної нестачі.

Крім промислового використання, Оскільське водосховище активно використовувалося у сільському господарстві для іригації. У регіоні з нестабільним зволоженням, особливо в літній період, його води застосовувалися для зрошення сільськогосподарських угідь, що позитивно впливало на врожайність культур, розвиток садівництва, овочівництва,

кормовиробництва. Вода подавалася в канали, польові зрошувальні мережі, а також використовувалася для технічних потреб сільгосп підприємств.

Водосховище було важливим джерелом рибних ресурсів. У його водах велися промисловий і любительський вилов риби. Завдяки добрим умовам для нересту й розвитку іхтіофауни, водойма була домом для різноманітних видів риб, зокрема коропових, хижаків (щука, окунь), а також мирних видів (лящ, плітка, карась). У водоймі діяли рибні господарства, що забезпечували продукцію для харчового ринку області.

Оскільська гідроелектростанція, що входила до складу гідровузла, також мала господарське значення. Хоча її потужність була невеликою в масштабах держави, вона забезпечувала енергією прилеглі села та була частиною місцевої енергетичної інфраструктури [22].

**Екологічне значення** Екологічна роль Оскільського водосховища була не менш вагомою. Воно підтримувало стабільність водного режиму в долині річки Оскіл, запобігаючи сезонному пересиханню та зменшуючи ймовірність повеней. Водойма забезпечувала стабільні умови для розвитку водно-болотних екосистем, які були важливими для збереження біорізноманіття. На узбережжі водосховища мешкали численні види птахів, особливо водоплавні та болотяні, які використовували ці території як місця гніздування, харчування й сезонного відпочинку. Серед них були й види, занесені до Червоної книги України. Також у водосховищі розвивалися колонії водних рослин — очерету, рогозу, латаття, що формували специфічні біоценози, багаті на біомасу й екологічні функції [22].

Крім того, водойма мала важливу кліматоутворювальну роль. Вона впливала на мікроклімат прилеглих територій, зменшуючи різкі коливання температури, збільшуючи вологість повітря та створюючи комфортні умови для сільського господарства, зелених зон та житлових масивів [22].

Не менш значущою була й рекреаційна функція водосховища. Його береги використовувалися для відпочинку, туризму, спортивного рибальства, водних видів спорту. У літній сезон територія водосховища приваблювала

мешканців навколишніх сіл і міст, зокрема Ізюма, Куп'янська та інших, які проводили дозвілля на природі. Це сприяло не лише культурному розвитку, а й формуванню локальної економіки (продаж продукції, послуги з прокату, рибальські тури тощо) [22].

Оскільське водосховище було не лише технічним об'єктом, але й важливим елементом екосистеми регіону. Воно забезпечувало середовище існування для багатьох видів флори та фауни, включаючи рибу, водоплавних птахів та водні рослини. Водосховище також було популярним місцем для відпочинку та рибальства серед місцевого населення [22].

У березні 2022 року, внаслідок бойових дій, гребля Оскільського водосховища була зруйнована, що призвело до значного зниження рівня води та обміління водосховища. Це спричинило серйозні екологічні та соціально-економічні наслідки для регіону, зокрема порушення водопостачання та деградацію місцевих екосистем.

## 2.2. Фізико-географічна характеристика території водосховища

Оскільське водосховище [23] — велике руслове водосховище на річці Оскіл, що існувало в Харківській області у 1957—2022 роках. Оскільське водосховище мало об'єм 474,3 млн куб. метрів, площу 122,6 кв. кілометрів. Його довжина 84,6 км, середня ширина 1,6 км, максимальна ширина 4,0 км. Водосховище розташовувалося в Ізюмському і Куп'янському районах Харківської області. Гребля водосховища довжиною 1025 метрів розташована у селі Оскіл. На водосховищі працювала Оскільська ГЕС [23].

### **Основні параметри водосховища [23]:**

- нормальний підпірний рівень — 72,5 м;
- форсований підпірний рівень — 74,8 м;
- рівень мертвого об'єму — 65,5 м;
- повний об'єм — 435,1 млн м<sup>3</sup>;
- корисний об'єм — 409,0 млн м<sup>3</sup>;

- площа дзеркала — 12300 га;
- довжина — 139 км;
- середня ширина — 0,88 км;
- максимальні ширина — 0,50 км (ймовірно, тут помилка в оригінальному тексті, мається на увазі максимальна 4,0 км, а 0,50 км може бути мінімальною або іншим параметром);
- середня глибина — 3,88 м;
- максимальна глибина — 10,50 м.

#### **Основні гідрологічні характеристики [23]:**

- Площа водозбірного басейну — 14700 км<sup>2</sup>;
- Річний об'єм стоку 50 % забезпеченості — 1210 млн м<sup>3</sup>;
- Паводковий стік 50 % забезпеченості — 650 млн м<sup>3</sup>;
- Максимальні витрати води 1 % забезпеченості — 2600 м<sup>3</sup>/с.

#### **Склад гідротехнічних споруд [23]:**

- Лівобережна земляна наливна гребля довжиною 570 м, висотою — 20 м, шириною — 10 м, закладення верхового укосу — 1:4, низового — 1:2,5;
- Правобережна земляна наливна гребля довжиною 360 м, висотою — 11 м, шириною — 10 м, закладення верхового укосу — 1:5, низового — 1:3;
- Водозливна бетонна гребля із п'яти прольотів шириною кожного по 12 м, обладнані плоскими колісними затворами висотою 9,25 м;
- Будівля ГЕС шириною 18,5 м, із двох гідроагрегатів встановленою потужністю — 3,14 МВт.

**Використання водосховища:** Оскільське водосховище використовувалося для господарсько-питного та технічного водопостачання Донбасу, зрошення і сільськогосподарського водопостачання, обводнення річок, гідроенергетики, а також, рибного господарства [23]. Так, наприклад, на початку листопада 2021 року до водосховища було випущено 28,8 тис. екземплярів дволіток риби, загальною вагою 3,2 тонни. При цьому, «вселення водних біоресурсів відбулося за рахунок коштів користувача — спеціального товарного рибного

господарства, що здійснює рибогосподарську діяльність на Оскільському водосховищі», — про це було повідомлено у Держрибагентстві України [24].

### 2.3. Зміни екологічних умов після руйнування греблі

Руйнування гідротехнічної інфраструктури — одна з найсерйозніших загроз для екологічної стабільності територій, де функціонують водосховища. Оскільське водосховище, яке розташовувалося в Ізюмському районі Харківської області, протягом багатьох років виконувало функції регуляції стоку, водопостачання, іригації, збереження біорізноманіття та підтримки мікроклімату. У вересні 2022 року внаслідок активних бойових дій гребля водосховища була зруйнована. Ця подія викликала різке зниження рівня води й спричинила низку глибоких змін у гідроекологічному середовищі регіону, що, за оцінками екологів, має довготривалий і, у ряді випадків, незворотний характер.

Перш за все, слід зазначити, що об'єм води у водосховищі скоротився щонайменше у п'ять разів. За даними журналістських розслідувань і свідчень місцевих мешканців, значна частина водного дзеркала зникла, залишивши після себе пересохле дно, вкриття мулом і глинистими відкладеннями [25]. Це спричинило масштабні зміни в гідрологічному режимі: зникли ділянки з постійною течією, припинилася циркуляція води в багатьох затоках, зменшилася інтенсивність самоочищення водних мас. Такі процеси характерні для подібних катастроф, що підтверджено в численних дослідженнях, зокрема у працях В. І. Медведєва [26].

Разом зі змінами гідрологічного режиму відбулося стрімке осушення прибережних екосистем. Зникнення водного дзеркала означало втрату звичного водного середовища для вологолюбної флори, амфібій, риб і безхребетних. На осушених ділянках почалося вторинне формування ландшафтів — переважно деградованих, пилюючих, дефляційних. Зменшення вологості призвело до зниження рівня ґрунтових вод, що вплинуло також на навколишні

агроекосистеми, зокрема сільськогосподарські угіддя, які раніше отримували вологу з водосховища.

Особливо гострою проблемою стало руйнування місць нересту риби. Унаслідок обміління води та втрати глибоких і затінених ділянок багато видів риби втратили можливість для розмноження. Зникли також заплавні луки, які виконували функції природних біофільтрів і були кормовою базою для молоді. Згідно з дослідженнями, наведеними у роботі В. І. Медведєва, подібні ситуації після руйнування гідроспоруд спричиняють різке зменшення видового складу іхтіофауни, скорочення популяцій і загибель риби через кисневе голодування [26].

Важливою екологічною зміною є трансформація хімічного складу залишкових вод і ґрунтів. Осушення спричинило активізацію процесів окиснення органічних речовин, що раніше накопичувалися в ілових відкладах. Це, у свою чергу, призводить до утворення токсичних сполук, зокрема сірководню та метану. При відсутності достатньої кількості кисню у воді (гіпоксії) відбувається загибель зообентосу — донних організмів, які виконують фільтраційну й очисну роль. Окремо слід зазначити, що внаслідок обміління водосховища спостерігається підвищення концентрації забруднювачів: пестицидів, залишків добрив, важких металів, що тривалий час накопичувались у донних відкладах. Без водного покриву ці речовини швидко потрапляють у навколишнє середовище, погіршуючи якість ґрунтів та спричиняючи додаткову загрозу для рослин і тварин. Подібні тенденції вивчалися під час аналізу катастрофи на Каховському водосховищі, і у випадку Оскільського спостерігаються схожі закономірності [27].

Також слід звернути увагу на зникнення міграційних та сезонних оселищ для птахів, які раніше використовували територію водосховища як зупинку під час перельотів. Втрата кормової бази, відсутність укриттів у вигляді прибережної рослинності та зміна мікроклімату зменшили привабливість регіону для водоплавних і болотяних птахів. Подібна ситуація вже

спостерігалася в басейні Нижнього Дніпра, де зникнення водно-болотних угідь після руйнування дамб викликало різке скорочення чисельності птахів [28].

Не менш важливою є й трансформація берегової зони. Після втрати гідростатичного тиску берегові лінії почали руйнуватися. Через зниження рівня води й висихання берегів активізувалися ерозійні та дефляційні процеси. З'явилися глибокі тріщини в ґрунті, посилювалося пилування, особливо у весняно-літній період. Таке природне "розгерметизування" території значно погіршує санітарно-гігієнічні умови та сприяє утворенню нових джерел забруднення повітря.

Наслідки руйнування Оскільської греблі проявляються у деградації водного середовища, втраті екосистемних функцій водосховища, зниженні біорізноманіття та трансформації кліматичних умов на локальному рівні. Після катастрофи регіон опинився у стані тривалого екологічного стресу. Без впровадження моніторингових програм, відновлення гідротехнічної інфраструктури та природоохоронних заходів існує ризик поступової трансформації території у напіваридну зону з обмеженим потенціалом для сільського господарства, рекреації та збереження природних ресурсів.

## РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ ОСКІЛЬСЬКОЇ ГРЕБЛІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДЗЗ

### 3.1. Використання даних дистанційного зондування для аналізу змін

У сучасних умовах дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) набуває особливої актуальності як надійний інструмент аналізу змін довкілля. Особливо важливою є його роль у випадках, коли доступ до території обмежений або небезпечний — наприклад, у зонах воєнних дій або екологічних катастроф. У рамках цього дослідження методи ДЗЗ були використані для аналізу змін, що сталися в межах Оскільського водосховища внаслідок руйнування греблі у 2022 році.

Використання супутникових знімків дає змогу здійснювати як ретроспективний, так і оперативний аналіз стану території. Це дозволяє виявляти тенденції, що сформувалися у природному середовищі, та оцінювати динаміку змін, пов'язаних із водним балансом, рослинним покривом, ступенем вологості поверхні тощо. Для цілей дослідження було використано супутникові знімки з місії Sentinel-2 L2A, що є частиною програми Copernicus — ініціативи Європейського космічного агентства (ESA). Sentinel-2 забезпечує зображення високої просторової (10–20 м) та спектральної роздільної здатності, що робить його ідеальним інструментом для екологічного моніторингу, зокрема — стану водних ресурсів. Зображення оброблялись і переглядались через онлайн-платформу Copernicus EO Browser, яка надає відкритий доступ до архівів та поточних даних супутникового моніторингу Землі. Для отримання об'єктивної картини використовувалися знімки за період із травня 2021 по травень 2025 року, що охоплює ситуацію до руйнування греблі, під час катастрофи та в посткатастрофічний період. Такий часовий відрізок дозволив дослідити довготривалу зміну природних параметрів, пов'язаних із втратою гідротехнічної інфраструктури та обмілінням водосховища.

У процесі аналізу використовувались основні спектральні фільтри та індекси, реалізовані в EO Browser, а саме:

- **True Color** — візуалізація зображення у природному (істинному) кольорі. Це дозволяє здійснювати звичайне зорове спостереження за змінами в межах водойми, зокрема за межами водного дзеркала, кольором води, станом рослинності тощо. Виявлення сухих ділянок, зміна тону кольору води, розширення берегової лінії та інші візуальні індикатори були особливо цінними в контексті опису наслідків катастрофи.
- **NDWI (Normalized Difference Water Index)** — індекс води, який дозволяє кількісно оцінити наявність вільної води на поверхні. Обчислюється за формулою  $(B3-B8)/(B3+B8)$ , де B3 — зелений канал, B8 — ближнє інфрачервоне випромінювання. NDWI є надзвичайно ефективним для моніторингу змін у площі водного дзеркала. У рамках даного дослідження за допомогою NDWI виявлено зменшення водного покриття, формування сухих ділянок та оголення дна водосховища.
- **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** — індекс вегетації, який використовується для оцінки стану рослинного покриття. Обчислюється за формулою  $(B8-B4)/(B8+B4)$ . Його застосування дозволило встановити зниження біомаси в прибережній зоні, що було наслідком осушення земель і втрати вологи.
- **SWIR (Short-Wave Infrared)** — короткохвильовий інфрачервоний фільтр, який дозволяє оцінити вологість ґрунтів і рослин. Також він дозволяє краще бачити зони, де вода змішується з мулом, а також замулені або частково зарослі ділянки.

Візуальний аналіз знімків виконувався в динаміці — шляхом створення GIF-анімацій, які дозволяють побачити, як змінювалася ситуація протягом кількох років. Наприклад, на знімках SWIR видно поступове висихання східної частини водосховища, поява нових світлих ділянок, що є свідченням зниження вологості ґрунтів. На анімаціях NDWI чітко зафіксовано, як площа водного дзеркала скорочувалась рік за роком — із чітким провалом у 2022–2023 роках. Зміни на знімках True Color стали додатковим підтвердженням втрати

прибережної рослинності та трансформації екосистем. (Дивитись додатки А, Б, В)

Крім візуального аналізу, було виконано графічну оцінку зміни значень NDWI у часовій динаміці, що дозволило чисельно простежити зміну водності в досліджуваній ділянці. Після 2022 року графік показує різке падіння NDWI, що відповідає втраті водного покриву та підтверджує наслідки руйнування греблі. Варто зазначити, що дистанційне зондування не тільки дозволяє отримати об'єктивні дані про стан об'єкта дослідження, а й має низку переваг: оперативність, безконтактність, доступність до важкодоступних районів, порівняльна дешевизна. Проте є й обмеження — наприклад, залежність оптичних знімків від погодних умов (хмарність), або складність інтерпретації візуальних змін без точних польових даних. Попри ці обмеження, супутникові знімки Sentinel-2 у поєднанні з індексами NDWI, NDVI, SWIR та фільтром True Color стали основою екологічного аналізу, що дозволив оцінити масштаби втрат водного ресурсу, вплив на прибережну екосистему, зміни в рослинному покриві, і, зрештою, — підтвердити значні екологічні наслідки техногенної катастрофи.

### 3.2. Аналіз наслідків руйнування за космічними знімками

Після збору та обробки супутникових знімків Sentinel-2 за допомогою платформи EO Browser було здійснено безпосередній аналіз наслідків руйнування Оскільської греблі, який охопив порівняльне візуальне вивчення ситуації до та після катастрофи. Основна мета полягала в тому, щоб простежити зміни в межах водного дзеркала, прибережної зони, а також у структурі рослинного покриву. Для цього було відібрано серію знімків, які охоплюють період із травня 2021 по травень 2025 року — цього цілком достатньо, щоб прослідкувати екологічну динаміку та оцінити наслідки.

На першому етапі аналізу було використано знімки у форматі True Color — вони дозволяють спостерігати ситуацію в спектрі, що найближчий до

сприйняття людським зором. На зображеннях 2021 року видно, що водосховище було повністю заповнене: чітко простежується водне дзеркало з рівними, правильними береговими лініями, вода темна, однорідна за кольором, а узбережжя поросле щільною рослинністю. У візуальному плані це — стабільна гідроекологічна система, без ознак деградації чи дефіциту води. На знімках 2023–2024 років, тобто після руйнування греблі, ситуація кардинально змінюється. Межі водного дзеркала стають нерівними, спостерігається значне обміління — особливо у північній, центральній та східній частинах водосховища. Колір води в багатьох ділянках змінюється з темно-синього або сірого на зелено-бурий, що може свідчити про замулення, підвищення концентрації органіки або розвиток водоростей у застійній воді. Також на берегах з'являються світлі плями — це свіжо оголене дно, яке не встигло зарости чи зволожитися. Видимі численні тріщини, дефляційні структури та пилюваті поверхні. У багатьох ділянках — повна втрата зеленого кольору, що раніше вказував на прибережну рослинність.

Додатково було проведено аналіз за фільтром NDWI (індекс води), який дозволяє чітко виділити ділянки, вкриті вільною водою. За індексною шкалою NDWI значення понад 0,3 свідчать про наявність води, значення нижче — про суходіл або перехідні ділянки. Порівняння знімків до та після катастрофи демонструє стрімке зменшення площі з високим NDWI — з майже повного заповнення чаші водосховища у 2021 році до залишкових озер і розірваних водойм у 2023–2024 роках. Особливо помітно зникнення води в південно-східній частині, де раніше були затоки. Загальна площа водного дзеркала, згідно з візуальною оцінкою NDWI, скоротилася приблизно вдвічі, а в окремих ділянках — у 4–5 разів. Це чітко видно на динамічній анімації з EO Browser, яка показує поступову зміну індексу води з яскраво-блакитного на зелений та коричневий. (Дивитись додаток Г)

Також важливим джерелом інформації стали знімки з фільтром SWIR (короткохвильове інфрачервоне). Цей фільтр дозволяє фіксувати зміни у вологості поверхні, а також виявляти сухі ділянки, які раніше були насичені

водою. На знімках 2021 року спостерігається значна частка темно-зелених зон, які вказують на вологі ґрунти та наявність води. Після руйнування греблі ці зони змінюються на світло-сірі або навіть рожеві, що свідчить про дегідратацію. Особливо яскраво видно трансформацію прибережної зони — з активної, багатой на воду, до сухої, деградованої території. SWIR також дозволив виявити нові канали ерозії, сухі русла та ділянки, що втратили екологічну продуктивність.

На окремих ділянках знімків видно фрагменти, які набули «плямистого» вигляду — це може свідчити про локальне заболочення, утворення мілководдя, тимчасових ставків, що залишилися після спаду основного рівня води. Ці новоутворення зазвичай мають низьке екологічне значення, але можуть бути осередками для накопичення органічних відходів, розвитку патогенів та евтрофікації.

Дані, отримані зі знімків Sentinel-2, свідчать про те, що руйнування греблі призвело не лише до фізичного зменшення кількості води, але й до структурних змін в екосистемі: змінився тип рослинності, постраждали фауністичні угруповання, зникли важливі біотопи. Ці висновки підтверджуються візуально й графічно — через падіння значень NDWI, втрату однорідності True Color, деградацію індексу SWIR. Космічні знімки стали об'єктивним доказом масштабної екологічної катастрофи: вони демонструють реальну трансформацію території, втрату гідрологічного балансу, зникнення водного середовища, а також вторинні наслідки для ландшафту та клімату мікрорегіону. Їх використання в цьому дослідженні дозволило підтвердити гіпотези про втрату водного ресурсу, деградацію рослинності та початок процесів опустелювання.

### 3.3. Наслідки для водного і навколишнього середовища

Руйнування Оскільської греблі спричинило масштабні зміни у водному та навколишньому природному середовищі, які можна кваліфікувати як

екологічну катастрофу локального масштабу з тенденцією до регіонального впливу. Зменшення площі водного дзеркала, осушення берегових зон, трансформація водно-болотних угідь, а також деградація прибережної флори і фауни — усе це є очевидними наслідками, які зафіксовані як візуально, так і за допомогою індексного аналізу супутникових знімків.

Найбільш очевидним і безпосереднім наслідком стало стрімке зменшення кількості води в басейні водосховища. Втрата греблі призвела до порушення гідрологічного режиму: вода почала безконтрольно витікати, а нові надходження вже не затримувалися, що спричинило катастрофічне обміління водосховища протягом кількох місяців після інциденту. На знімках індексу NDWI це чітко зафіксовано — яскраво-блакитні зони 2021 року замінюються на зеленувато-сірі ділянки в 2023–2024 роках, що свідчить про втрату відкритої води та поступове висихання території.

Скорочення площі водного дзеркала призвело до руйнування цілісності водної екосистеми. Зникли нерестовища, місця проживання водоплавних птахів і амфібій, а також мілководні зони, де концентрувалися поживні речовини й відбувався кругообіг речовин. Згідно з повідомленнями екологів, внаслідок обміління загинуло щонайменше 2 мільйони рибин різних видів, що спричинило біологічну деградацію трофічного ланцюга [29].

Іншим серйозним наслідком стало зниження вологості ґрунтів у прибережній зоні. Аналіз знімків за фільтром SWIR підтверджує втрату вологи в багатьох ділянках, які раніше були перезволоженими. Сухі ґрунти втратили свою здатність до самоочищення, що створює ризики для якості води у залишкових водоймах, а також збільшує небезпеку пилових бур, ерозії, деградації земель.

Особливо важливим індикатором стало використання NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), що дозволяє оцінити стан рослинного покриву. На анімації NDVI видно, як у 2021 році навколо водосховища панує активна вегетація — яскраво-зелені зони, які вказують на щільну, здорову рослинність. Після 2022 року ці ділянки змінюються на блідо-жовто-зелені та коричневі, що

вказує на зменшення біомаси, відмирання рослин і втрату екологічної продуктивності. Це пов'язано з поєднанням кількох факторів: втратою вологи, засоленням оголеного дна, порушенням кореневої структури рослин. (Дивитись додаток Д)

Водночас можна говорити і про втрату водно-болотних угідь, які виконували важливу екосистемну функцію: фільтрацію води, збереження біорізноманіття, регуляцію мікроклімату. Осушення цих угідь супроводжується викидом вуглецю в атмосферу, погіршенням якості повітря та зникненням рідкісних видів рослин і тварин. Це, в свою чергу, спричиняє каскадні екологічні ефекти, які можуть відбитися навіть за межами безпосередньої зони впливу.

Руйнування водосховища вплинуло також і на мікроклімат регіону. Зменшення водної площі спричинило скорочення випаровування, зниження вологості повітря, збільшення амплітуди добових і сезонних коливань температури. Це робить регіон більш вразливим до посух, перегріву ґрунту, зміни фаз вегетації рослин. У сукупності це призводить до зниження агропотенціалу прилеглих земель і ускладнює умови для ведення сільського господарства.

Також варто враховувати соціальні наслідки екологічних змін, які проявляються у втраті джерел питної та технічної води, ускладненні рекреаційного використання території, зменшенні рибних ресурсів для місцевого населення. Як наслідок, регіон зазнав не лише природної, а й економічної та гуманітарної деградації.

#### 3.4. Заходи з відновлення водних та прибережних екосистем

Руйнування Оскільської греблі спричинило масштабні екологічні наслідки, включаючи втрату водного дзеркала, деградацію прибережних екосистем, зниження біорізноманіття та погіршення якості води. Відновлення цих екосистем є критично важливим для забезпечення екологічної стійкості

регіону, відновлення природних функцій водосховища та покращення умов життя місцевого населення.

Першочерговим завданням є відновлення природного гідрологічного режиму річки. Це включає моделювання природних паводків шляхом регульованих скидів води, що сприяє відновленню динаміки річки, переносу осадів та формуванню нових русел і заплав. Відновлення природної меандрованої структури річки сприяє покращенню гідрологічних умов та створенню сприятливих середовищ для водної фауни.

Забезпечення якості води є ключовим аспектом відновлення. Регулярний моніторинг вмісту важких металів та інших забруднювачів у воді та донних відкладах дозволяє вчасно виявляти та усувати джерела забруднення. Створення штучних вологих зон та використання фітоочищення сприяє природному очищенню води від забруднювачів.

Відновлення прибережних екосистем включає посів трав та висадку дерев, що сприяє стабілізації ґрунтів, запобігає ерозії та створює середовище для повернення фауни. Використання рослин для вилучення або нейтралізації забруднювачів у ґрунті та воді є ефективним методом очищення територій.

Після руйнування греблі існує ризик поширення інвазивних видів, які можуть витіснити місцеву флору та фауну. Заходи включають регулярне спостереження за рослинністю та фауною для виявлення інвазивних видів, а також застосування методів видалення інвазивних видів для запобігання їх поширенню.

Повернення зниклих або зменшених популяцій видів є важливим кроком. Випуск у водойму молоді місцевих видів риб сприяє відновленню трофічних ланцюгів. Встановлення штучних гнізд та охорона місць гніздування сприяє поверненню птахів.

Екосистемні послуги, такі як очищення води, регуляція клімату та рекреаційні можливості, можуть бути відновлені через розвиток екотуризму та проведення освітніх заходів для місцевого населення щодо важливості екосистем та їх збереження.

Участь місцевого населення є ключовою для успіху відновлення. Залучення волонтерів до посадки рослин, моніторингу та інших заходів, а також проведення тренінгів для місцевих жителів щодо методів відновлення та збереження екосистем сприяє ефективності заходів.

Забезпечення фінансової підтримки для місцевих громад включає надання фінансової допомоги для реалізації екологічних проектів та розвиток екологічного туризму та інших зелених ініціатив, що сприяє створенню нових робочих місць.

Прикладом успішного відновлення є проект з видалення дамб на річці Елва у США. Після видалення дамб було зафіксовано повернення лососевих риб, відновлення природного русла та покращення якості води. Після руйнування Каховської греблі в Україні було виявлено значне забруднення важкими металами. Рекомендації включають створення бар'єрів для запобігання поширенню забруднювачів та фітореMediaцію для очищення територій.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра на тему *«Геоінформаційний аналіз змін довкілля внаслідок руйнування греблі Оскільського водосховища»* було досягнуто поставленої мети — здійснено комплексне дослідження екологічних наслідків техногенної катастрофи з використанням сучасних методів дистанційного зондування Землі, а також проаналізовано зміни водних і прибережних екосистем до та після руйнування греблі. Всі поставлені завдання дослідження виконані.

У **першому розділі** було розглянуто вплив техногенних катастроф на довкілля на прикладі світових та українських подій. Особливу увагу було приділено наслідкам руйнування гідротехнічних споруд — як через воєнні дії, так і внаслідок зношеності та надзвичайних погодних явищ. Аналіз таких подій дозволив виявити типові екологічні ризики: втрату водних ресурсів, загибель водної фауни, деградацію прибережних зон, зміну мікроклімату та інші негативні наслідки. Це стало основою для розуміння масштабів і типових механізмів екологічних порушень при подібних катастрофах.

У **другому розділі** було охарактеризовано фізико-географічні особливості території Оскільського водосховища, його створення, функціонування та роль у господарському житті регіону. На основі зібраних джерел та офіційної статистики проаналізовано стан водосховища до моменту руйнування греблі, показано його значення для зрошення, промислового водопостачання, рибного господарства та рекреації. Також у межах цього розділу було описано зміни екологічних умов після руйнування: зафіксовано обміління, втрату гідрологічного балансу, загибель флори й фауни, ерозію ґрунтів та формування зон екологічного ризику.

Найбільш вагомі результати отримано в **третьому розділі**, де за допомогою даних супутникових знімків Sentinel-2 було здійснено просторово-часовий аналіз екологічних змін, що сталися в регіоні після катастрофи. За допомогою фільтрів True Color, NDWI, SWIR та NDVI було виявлено суттєве зменшення площі водного дзеркала, зниження вологозабезпечення

прибережних територій, деградацію рослинного покриву, трансформацію ландшафту та зникнення екосистем водно-болотного типу. Дані були представлені як у формі графіків, так і візуальних порівнянь зображень у динаміці (у 4–5 разів -анімації). Аналіз супутникових матеріалів дозволив об'єктивно підтвердити масштаби екологічної шкоди та простежити динаміку відновлення або подальшого погіршення ситуації в окремих ділянках.

У цьому ж розділі було розроблено комплекс рекомендацій та узагальнено можливі заходи з екологічного відновлення водосховища та прибережних екосистем. Пропонуються заходи гідрологічної стабілізації, рекультиватії берегів, біологічного відновлення фауни і флори, створення буферних зон, екологічного моніторингу та соціально-господарської підтримки регіону. Наведено приклади успішних реабілітаційних програм у світі, які можуть бути адаптовані для українських умов.

Таким чином, у результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було:

- проаналізовано вплив техногенних катастроф у світі на довкілля;
- досліджено екологічний стан Оскільського водосховища до та після руйнування греблі;
- вивчено фізико-географічні характеристики водосховища;
- підібрано та проаналізовано супутникові матеріали дистанційного зондування Землі;
- виявлено просторові й функціональні зміни в екосистемі;
- обґрунтовано комплекс заходів для екологічного відновлення.

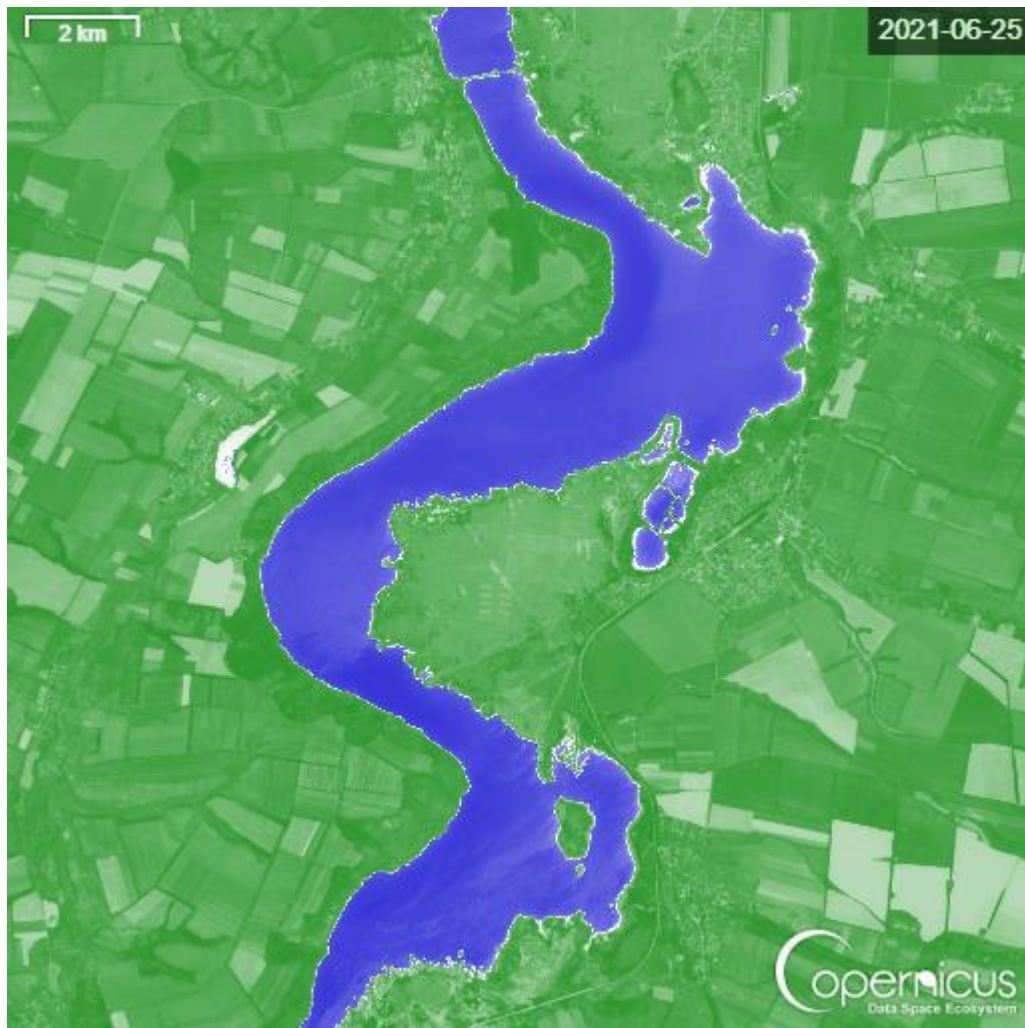
Результати роботи мають практичне значення для моніторингу та оцінки наслідків техногенних катастроф, а також можуть бути використані фахівцями з екології, геоінформатики, управління водними ресурсами, планування відновлювальних програм у зоні екологічного лиха.

# ДОДАТКИ

## Динаміка зміну стану Оскільського водосховища з фільтром True Color



## Динаміка зміну стану Оскільського водосховища з фільтром NDWI

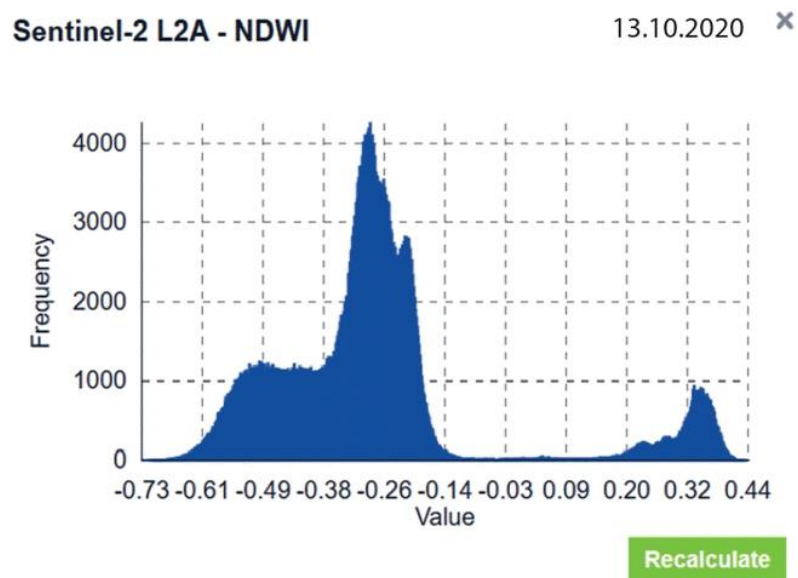


## Додаток В

## Динаміка зміну стану Оскільського водосховища з фільтром SWIR



## Динаміка зміну індексу NDWI у 2020-2024 роках



## Додаток Д

## Динаміка зміну стану Оскільського водосховища з фільтром NDVI



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. UNISDR Annual Report 2016. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2016. URL: <https://www.undrr.org/publication/unisdr-annual-report-2016> (дата звернення: 30.05.2025).
2. The International Disaster Database. EM-DAT, 2023. URL: <https://www.emdat.be/> (дата звернення: 30.05.2025).
3. Smith K. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. 6th ed. Routledge, 2013.
4. Класифікація надзвичайних ситуацій. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://zt.dsns.gov.ua/upload/1/5/1/8/4/9/8/klasifikaciya-ns.pdf> (дата звернення: 30.05.2025).
5. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004 р. № 368. Офіційний вісник України. 2004. № 12. Ст. 740.
6. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру : Постанова Кабінету Міністрів України від 15.02.2002 р. № 175. Офіційний вісник України. 2002. № 8. Ст. 352.
7. Sousa L., Pandit S. G., Channekar T. P. Тематичне дослідження та судово-медичне розслідування руйнування дамби над Кедарнатхом.
8. Osnos E. Faust, China, and Nuclear Power. The New Yorker. 2011, October 12.
9. Dill D. B. Terror on the Hassayampa: The Walnut Grove Dam Disaster of 1890. The Journal of Arizona History. 1987. Vol. 28, no. 3. P. 283–306.
10. Coleman N. M. Johnstown's Flood of 1889 – Power Over Truth and The Science Behind The Disaster. Springer International AG, 2018. ISBN 978-3-319-95215-4.

- 11.Повінь на греблі Сатава в Італії. За секунди до катастрофи : [телепередача].
- 12.Li D. et al. High Mountain Asia hydropower systems threatened by climate-driven landscape instability. *Nature Geoscience*. 2022, July. Vol. 15, no. 7. P. 520–530.
- 13.Rotta L. H. S. et al. The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: A foreseeable avoidable disaster. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020. Vol. 91. Art. 102119. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102119.
- 14.Ferrie J. Mine risk for thousands hit by Laos dam flood. *Reuters*. 2018, August 7.
- 15.Environmental Impact of the Kakhovka Dam Collapse: Assessing Long-Term Consequences. *Discover Wild Science*. 19.11.2023. URL: <https://discoverwildscience.com/environmental-impact-of-the-kakhovka-dam-collapse-assessing-long-term-consequences-1-278395/> (дата звернення: 30.05.2025).
- 16.Чи варто відбудувати Оскільське водосховище після війни? *Ukrainian Nature Conservation Group*. 12.09.2022. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/should-the-oskil-reservoir-be-rebuilt-after-the-war/> (дата звернення: 30.05.2025).
- 17.WMO Report on Banqiao Dam (1975). *World Meteorological Organization*. URL: <https://public.wmo.int> (дата звернення: 30.05.2025).
- 18.Official Report on Vajont Disaster (1964). *Italian Government*. URL: <https://www.vajont.info/> (дата звернення: 30.05.2025).
- 19.Edenville Dam Failure (2020). *Michigan Department of Natural Resources*. URL: <https://www.michigan.gov/dnr> (дата звернення: 30.05.2025).
- 20.Brumadinho Dam Collapse (2019). *Science Magazine*. URL: <https://www.science.org> (дата звернення: 30.05.2025).
- 21.Оскільське водосховище. Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Оскільське\\_водосховище](https://uk.wikipedia.org/wiki/Оскільське_водосховище) (дата звернення: 30.05.2025).

22. Екосистема Оскільського водосховища навряд чи відновиться – екологи. Головне в Україні. URL: <https://glavnoe.in.ua/news/ekosistema-oskilskoho-vodoshovyshha-navryad-chy-vidnovytsya-ekolohy> (дата публікації не вказана в тексті, дата звернення: 30.05.2025).
23. Тур О.М., Колодій А.С. Дослідження наслідків руйнування греблі Оскільського водосховища. Новітні технології в науці та освіті : матеріали XXVIII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 21-22 грудня 2023 р.). Харків, 2023. С. 190-191. URL: [https://eprints.kname.edu.ua/65638/1/NUUEK\\_2023-190-191.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/65638/1/NUUEK_2023-190-191.pdf) (дата звернення: 30.05.2025).
24. Оскільське водосховище зарибили понад 3 тоннами молоді риби. AgroTimes. Листопад 2021. URL: <https://agrotimes.ua/tvarinnitstvo/oskilske-vodoshovyshhe-zarybyly-ponad-3-tonnamy-molodi-ryby/> (дата звернення: 30.05.2025).
25. Російські генерали визнали, що підрив дамби Оскільського водосховища не вплинув на контрнаступ ЗСУ. Суспільне Харків. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/952859-ros-general-iskol/> (дата публікації не вказана в тексті, дата звернення: 30.05.2025).
26. Медведєв В. І. Екологічні наслідки гідротехнічного будівництва. Київ, 2020. (Примітка: Видавництво не вказано).
27. Вплив руйнування Каховського водосховища на водні ресурси півдня України. Нова Карта : аналітичний звіт. 2023. URL: [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/analytics/\[analytics\]\[2023\]\\_vplyv\\_ruynuvannya\\_kakhovskoho\\_vodoshkovyshcha\\_na\\_vodni\\_resursy\\_pivdnu\\_ukrayiny.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/analytics/[analytics][2023]_vplyv_ruynuvannya_kakhovskoho_vodoshkovyshcha_na_vodni_resursy_pivdnu_ukrayiny.pdf) (дата звернення: 30.05.2025).
28. Бондарчук С. (2020). (Примітка: Надана інформація про джерело неповна, відсутні назва роботи та дані про публікацію).
29. Майже 2 млн рибин загинули внаслідок руйнування окупантами греблі Оскільського водосховища. Суспільне Харків. URL: <https://suspilne.media/kharkiv/261037-majze-2-mln-ribin-zaginuli-vnaslidok->

[rujnuvanna-okupantami-grebli-oskilskogo-vodoshovisa/](#) (дата публікації не вказана в тексті, дата звернення: 30.05.2025).