



У. І. Борняк¹, Є. М. Кривохижа²

¹ Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів, Україна

² Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОДОЛАННЯ НАСЛІДКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ КАТАСТРОФИ НА ПРИКЛАДІ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Подано результати досліджень з мінімізації та подолання наслідків екологічних катастроф, використовуючи для прикладу ситуацію з Каховською ГЕС. Проаналізовано історію створення та експлуатації ГЕС, наслідки для екосистеми регіону та вплив на життєдіяльність місцевих громад. Запропоновано низку стратегій і рекомендацій для подолання вже виниклих екологічних проблем і запобігання можливим у майбутньому. Зокрема, потрібно покращити управління водними ресурсами, запровадити новітні екологічні технології та активізувати громадський контроль. Наведено інформацію для дослідників, політиків, екологів та всіх, хто зацікавлений у збереженні та відновленні природи після антропогенних впливів. Сучасні методи подолання наслідків екологічних катастроф на прикладі Каховської ГЕС ґрунтуються на комплексному підході до відновлення із застосуванням природних, науково обґрунтованих технологій. Наголошено на важливості дотримання екологічної безпеки під час експлуатації гідроенергетичних споруд і пошуку балансу між енергетичними потребами та збереженням природних ресурсів. Проаналізовано наукові дані, статистику, а також наведено результати власних експериментів, що висвітлюють зміни в екосистемі внаслідок експлуатації Каховської ГЕС. Зокрема, досліджено вплив ГЕС на гідрологічний режим регіону, флору і фауну, а також соціально-економічні наслідки для місцевих громад. Обґрунтовано важливість впровадження принципів сталого розвитку в енергетиці, враховуючи виробництво зеленої енергії і раціональне використання природних ресурсів. Приділено увагу ефективній роботі з громадськістю, щоб забезпечити підтримку та розуміння потреби у запровадженні запропонованих рішень. Використано міждисциплінарний підхід до проблеми. Наведено дані із різних галузей науки для дослідження впливу ГЕС на навколишнє середовище та можливих способів вирішення виниклих проблем. Отже, здійснено комплексне дослідження проблеми взаємодії гідроенергетичних об'єктів і навколишнього природного середовища, запропоновано конструктивні методи її вирішення.

Ключові слова: мінімізація відходів; екологічна катастрофа; Каховська ГЕС; екологічні показники; відновлювання екосистеми.

Вступ / Introduction

У цьому дослідженні розглянуто сучасні методи подолання наслідків екологічної катастрофи на Каховській гідроелектростанції (Каховська ГЕС); причини екологічних проблем, з якими стикалася станція, а також оцінено заходи, що вживаються для зниження негативного впливу на довкілля та розвитку сталої екологічної політики. Проблема екологічних катастроф на Каховській ГЕС є нагальним питанням, яке потребує комплексного та науково обґрунтованого підходу. Застосування сучасних технологій і методів, таких як моніторинг стану навколишнього середовища, впровадження інноваційних технологій, реставрація природних угідь та ви-

користання альтернативних джерел енергії, можуть стати важливими кроками на шляху до створення сталої та екологічно збалансованої системи енергопостачання в регіоні. Незважаючи на серйозні наслідки руйнування Каховської ГЕС, вчені та екологи зі всього світу активно працюють над виробленням стратегій і методик для ефективного відновлення пошкоджених екосистем і мінімізації негативного впливу на довкілля.

Об'єкт дослідження – наслідки екологічної катастрофи після руйнування Каховської ГЕС.

Предмет дослідження – методи та заходи з подолання екологічних наслідків техногенної катастрофи, спричиненої руйнуванням Каховської ГЕС.

Мета роботи – осмислення та наукове обґрунтуван-

Інформація про авторів:

Борняк Уляна Іванівна, канд. геолог. наук, доцент, кафедра мінералогії, петрографії і геохімії. Email: u.bornyak@ukr.net;

<https://orcid.org/0000-0003-1214-4821>

Кривохижа Євген Михайлович, д-р с.-г. наук, ст. наук. співробітник, професор, кафедра агробіотехнологій.

Email: ye.kryvokhyzha@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7270-6529>

Цитування за ДСТУ: Борняк У. І., Кривохижа Є. М. Сучасні методи подолання наслідків екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 4. С. 31–36.

Citation APA: Bornyak, U. I., & Kryvokhyzha, Ye. M. (2023). Modern methods of overcoming the consequences of an environmental disaster using the example of the Kakhovka hydroelectric power plant. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(4), 31–36.

<https://doi.org/10.36930/40330405>

ня використання активних і ефективних методів невілювання наслідків екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Визначити фізико-технічні характеристики Каховського гідровузла, як бази функціонування Каховської ГЕС;
2. Дослідити екологічні наслідки підризу дамби Каховської ГЕС для України та окремо Чорноморського регіону;
3. Обґрунтувати та надати техніко-організаційне пояснення методів і заходів з подолання наслідків екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сутності екологічних криз, екологічних наслідків і способів подолання здійснюють у дослідженнях такі вчені, як: Abdelmagied [1], Grossi та Vakulenko [4], Moreno [8], Warsini, Mills та Usher [16]. В Україні оперативні фахові й експертні дослідження після руйнування Каховської ГЕС навели: Novitsky [9], Shutyak [12], Starodubtsev, Naychenko та Ladyka [13]. Проте, незважаючи на чисельність публікацій з цих проблем, нагальним є подальше осмислення характеру перебігу екологічної кризи, узагальнення досвіду з охорони і збереження навколишнього природного середовища та подолання наслідків техногенної екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС.

Матеріали та методи дослідження. У нашому дослідженні використано такі методи і прийоми: 1) екологічне моделювання. Подібні моделі дають змогу передбачати рух забруднювальних речовин, визначати потенційний вплив на місцеві організми і знайти найефективніші методи мінімізації негативного впливу на довкілля; 2) принцип структурності дослідження. У науковому аспекті структурність характеризується положеннями теорії інформації, як одного з розділів синергетики. Окрім цього, ми використовуємо функціонально-структурований підхід до опису подій та оцінювання їх наслідків. Самі рівні за принципом вертикальної когерентності – наскрізно пов'язані між собою потоками інформації, з конкретними механізмами подолання наслідків екологічної катастрофи; 3) сценарний підхід – використовуємо для опису можливих наслідків або майбутніх підсумків існування геоекосистеми. Сценарії технологічної системи та геоекосистеми об'єднує те, що вони подібні до своїх структур і поточкових процесів.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Каховська гідроелектростанція (Каховська ГЕС) була однією з ключових гідроелектростанцій України, яка споруджена на Дніпрі. Завдяки своїй потужності та ролі у регулюванні водних ресурсів, вона мала великий вплив на енергетичний, соціальний та екологічний баланс регіону. Однак нещодавні події (підризу дамби) показали, що виникнення непередбачуваних ситуацій мають серйозні наслідки не тільки для станції, але і для всього регіону [5]. Водосховище простягалось через територію Запорізької, Дніпропетровської та Херсонської областей. Його використовували для зрошення та водопостачання південних областей, навігації та відпочинку. Каховське водосховище було найбільшим пунктом водозабору у Дніпровському каскаді. Воно забезпечувало питною водою міста Нікополь, Марганець, Покров, а

також низку населених пунктів Херсонської області, і до анексії – Автономну Республіку Крим. Серед великих промислових споживачів води варто згадати Запорізьку ГРЕС та канал "Дніпро-Кривий Ріг", який забезпечує водою потужний Криворізький гірничо-промисловий район. Воду з Каховського водосховища також використовував Північнокримський канал загального призначення, Каховська зрошувальна система та насосні станції Північнорогачицької, Верхньотарасівської, Нікопольської зрошувальних систем [9].

Катастрофа на Каховській Гідроелектростанції (ГЕС) призвела до серйозних екологічних наслідків, які впливають не тільки на територію України, але й на весь Чорноморський регіон. Прісноводна риба, яка потрапила в морські води, страждає від зміни екосистеми. Окрім цього, внаслідок руйнування дамби у воду потрапило багато паливно-мастильних матеріалів, які є вкрай токсичними. Втім сучасна наука пропонує низку стратегій для відновлення після подібних катастроф.

1. *Потрапляння токсичних речовин у воду: забруднення та його наслідки.* Прорив дамби призвів до масового потрапляння у водойми великого об'єму паливно-мастильних матеріалів (не менше 150 т тільки за перший день). Після катастрофи ГЕС було затоплено населені пункти, і водойми, відомі своїми різними джерелами забруднення, тепер перенесли це забруднення до Дніпра та Чорного моря, що істотно погіршило стан водного середовища та спричинило небезпеку для живих організмів [12].

2. *Втрата біорізноманіття.* Зникнення великої частини заповідного фонду. Унаслідок прориву дамби, у Херсонській області зокрема, склалася екстремальна екологічна ситуація. Приблизно 30 % заповідного фонду загрожує зникнення. Наприклад, Національний парк "Нижньодніпровський", де проживає 120 рідкісних видів флори та фауни, було повністю затоплено. Затопило також території, де раніше зберігалися типові та рідкісні угруповання заплавлених лісів, боліт, лук, піщаних степів, степових схилів Дніпра та балок, відслонень гірських порід.

3. *Вплив на рибні ресурси та наземну фауну.* Прорив дамби та затоплення призвели до значного зниження рибних ресурсів. Каховське водосховище було найважливішим місцем концентрації прісноводних промислових видів риб у країні, як зазначено в Українській природоохоронній групі. Унаслідок катастрофи деякі види птахів, які гніздилися у цих місцях, також можуть зникнути. Водночас багато наземних тварин загинуло через стрімке підвищення рівня води.

4. *Наслідки для аграрного сектору.* Прорив Каховської ГЕС став серйозним ударом по українському аграрному сектору. Затоплено приблизно 10 тис. га сільськогосподарських земель на правому березі Херсонської обл. та 20-30 тис. га – на окупованому лівому. Техногенна катастрофа призвела до зупинки водопостачання 31 системи зрошення полів Дніпропетровської, Херсонської та Запорізької областей. Без джерела води фактично залишаться 94 % зрошувальних систем у Херсонській, 74 % у Запорізькій та 30 % у Дніпропетровській областях [13]. 20 червня 2023 р. було оприлюднено супутникові фотографії Каховського водосховища після подій на греблі та Каховської ГЕС. Більшість води з резервуару вже стекла (рисунок). Хоча у деяких глибоких частинах формувались нові водойми, деякі із яких

існують із часів до формування великого резервуару. Водяні площі будуть надалі випаровуватися, та території, які зараз вкриті болотами, згодом перетворяться на суху землю та заростуть чагарником, відновлюючи природні ландшафти в цьому регіоні.



Рисунок. Візуалізація наслідків підриву дамби Каховської ГЕС / Visualization of the consequences of blowing the Kakhovka HPP dam [15]

Першим етапом подолання екологічних наслідків є аналіз та оцінювання стану екосистеми після катастрофи: вимірювання рівнів забруднення води, повітря та ґрунту, а також моніторинг місцевої фауни та флори. Передусім для розуміння сучасних методів подолання наслідків екологічної катастрофи потрібно розглянути основні причини, які зумовили погіршення екологічної ситуації на Каховській ГЕС.

До найпоширеніших проблем можна віднести:

1. *Забруднення водойм.* Незважаючи на значний об'єм води, який використовується для генерації електроенергії, відпрацьовані води можуть містити різні токсичні речовини та викиди, що негативно впливають на водні екосистеми.
2. *Руйнування біорізноманіття.* Будівництво станції потребувало великої площі території, що призвело до втрати унікальних природних угідь та життєвого простору для різноманітних видів.
3. *Зміни режиму водоспоживання.* Регулювання витрат води на станції може змінювати природний режим річки, що має негативний вплив на біоту та екологію.
4. *Зсуви ґрунтів.* Побудова греблі може призводити до зсувів ґрунтів, що створює загрозу для прилеглих територій та людей.

Ми можемо виділити й обґрунтувати такі методи і заходи подолання наслідків екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС.

1. *Нестандартні технологічні й інноваційні рішення.* Застосування інноваційних технологій. Життя в тимчасово окупованих районах південно-східної частини України, зокрема і в Криму, було тісно пов'язане з діяльністю ключових систем зрошення та водопостачання, таких як Каховський та Північнокримський магістральні канали. Є декілька технологічних варіантів, які дадуть змогу забезпечити потреби міст у воді, навіть якщо це базове забезпечення. Однією з таких техноло-

гій є плаваючі насосні системи, розміщені в первісному руслі Дніпра, що можуть доставляти воду до наявних водозаборів. Є також інші стратегії з використання альтернативних водних ресурсів [4]. Наприклад, у Марганці можливе створення водозабору на Миколаївському водосховищі із подальшим транспортуванням води через підземні труби до місцевих систем. У деяких місцях також варто розглядати буріння артезіанських свердловин. Технологічний проект щодо транспортування води з Дніпра через послідовність систем "Карачунівське водосховище – водопровідна мережа Кривого Рогу" – Південне водосховище – "канал Дніпро – Кривий Ріг" – і далі до низки населених пунктів, обслуговуючи всю територію.

2. *Державні проектні рішення.* На початковому етапі основну увагу буде приділено проектним роботам і створенню ключових споруд, потрібних для надійної роботи Дніпровської ГЕС під час наступних етапів реконструкції Каховської ГЕС. На стартовому етапі експериментального проекту має бути заплановано:

- розроблення проектів тимчасових гребель для верхнього та нижнього резервуарів Каховського гідровузла, створення системи для забезпечення будівельних і екологічних потреб Каховського гідровузла, а також підпірних споруд у нижньому резервуарі Дніпровської ГЕС;
- зведення підпірної споруди в нижньому резервуарі Дніпровської ГЕС.

На наступному етапі, після того як Україна поверне контроль над Каховською ГЕС, передбачено:

- інспекцію, демонтаж пошкоджених споруд та елементів Каховського гідровузла;
- будівництво тимчасової греблі для верхнього та нижнього резервуарів Каховського гідровузла.

3. *Використання геоінженерії для впорядкування наслідків екологічної катастрофи.* Геоінженерію може бути використано як інструмент для впорядкування наслідків екологічної катастрофи після підриву Каховської ГЕС, зокрема забруднення повітря, води та ґрунту. Використання геоінженерії в різних формах матиме результат для відновлення довкілля після екологічних катастроф. Наприклад, реабілітація ґрунту через внесення в нього біохару або фітостабілізація з допомогою рослин може бути ефективним способом боротьби із забрудненням ґрунту. Також можна застосувати біоремедіацію – процес використання мікроорганізмів для розкладання шкідливих речовин і перетворення їх на безпечні або менш токсичні продукти [16]. Методи геоінженерії також охоплюють використання передових технологій, таких як карбонатна мінералізація для зниження рівня CO₂ в атмосфері або використання наночастинок для зниження рівня забруднювачів у воді.

4. *Метод біоремедіації.* Біоремедіація використовує мікроорганізми, такі як бактерії, гриби, або рослини, для перетворення шкідливих речовин в менш токсичні або нейтральні форми. Це, зокрема, біологічне розкладання органічних забруднювачів або стабілізація або зв'язування неорганічних забруднювачів. Біоремедіація може відбуватися на місці забруднення (*in situ*) або за його межами (*ex situ*), коли забруднений матеріал переміщується в контрольоване середовище для здійснення процесів очищення. Біоремедіацію широко застосовують в екології для відновлення забруднених ґрунтів та води. Бактерії часто використовують для біоремедіації забруднених нафтопродуктами ґрунтів, оскільки вони мають здатність

розщеплювати нафту на безпечні компоненти [10]. Процес використання рослин для біоремедіації називають фітоторемедіацією. Вони можуть витягати токсичні елементи з ґрунту або води та нагромаджувати їх у своїх тканинах, або віддавати токсини в атмосферу.

5. Реставрація природних угідь. Відновлення природних територій, які були знищені внаслідок будівництва та експлуатації ГЕС, є важливою компонентою охорони довкілля. Такий процес охоплює відновлення різноманітності видів, екосистем і природних ландшафтів. Реставрація природних угідь – це процес відновлення та відтворення деградованих або знищених угідь до їхнього природного стану. Вона може охоплювати різноманітні стратегії, зокрема: відновлення рідкісних рослин, відновлення водних ресурсів, зменшення забруднення або впровадження управління місцем проживання для забезпечення сталого розвитку біорізноманіття [1].

Методи реставрації угідь залежать від конкретних цілей, екологічних умов та доступних ресурсів. Вони можуть охоплювати активне впровадження рослин або висівання рідких видів, контроль над небажаними видами, зміну водного режиму для відновлення водяних угідь, або використання контролю для стимулювання росту рідких видів [7].

6. Використання технологій водоочищення. Екологічна катастрофа на Каховській ГЕС призвела до масштабного забруднення води. Для подолання цієї проблеми можуть бути використані сучасні технології водоочищення, такі як електродіаліз та реверсний осмос. Основні технології водоочищення:

- 6.1. *Фізичні методи.* Це процеси фільтрації та осадження, які видаляють тверді частинки з води. Їх часто використовують на початкових етапах водоочищення для видалення великих частинок, таких як пісок та інші нерозчинні матеріали.
- 6.2. *Хімічні методи.* Використання хімічних реакцій для видалення забруднювачів з води. Одним з прикладів є хлорування – процес застосування хлору для знищення бактерій та інших мікроорганізмів у воді.
- 6.3. *Біологічні методи.* Це використання живих організмів, таких як бактерії або рослини, для видалення забруднювачів з води. Наприклад, водорості можуть бути використані для видалення нітратів і фосфатів з води.
- 6.4. *Мембранні технології.* Ці технології використовують мембрани для видалення дрібних частинок або розчинених речовин з води. Осмос та нанофільтрація – це два основні типи мембранних технологій.
- 6.5. *Перспективи технологій водоочищення.* Новітні технології водоочищення, такі як фотокаталітичний оксид, електродіаліз та біохар, набувають щораз більшої поширеності за їхню ефективність та стійкість. Ці технології мають потенціал змінити спосіб, яким ми очищуємо та повторно використовуємо воду, допомагаючи нам зробити крок до більш сталого майбутнього.

7. Відновлювальне землеробство та створення протекційних зон. Підлив дамби Каховської ГЕС негативно вплинув на якість води та ґрунтів. Основна проблема сьогодні полягає у втраті родючості землі, спричиненої зниженням рівня мікроорганізмів, мінералів та органічних матеріалів, що погіршує врожайність. Це підкреслює важливість регенеративного землеробства, яке має на меті відновлення цих важливих компонентів ґрунту. Цей підхід до землеробства ґрунтується на гармонійній взаємодії з природою, що спрямований на вуглецеве збереження, комплексне управління, культивування багаторічних рослин на пасовищах, створення різноманіт-

них ферм і органічний підхід до вирощування [6]. Ці методи також сприяють відновленню та реабілітації ґрунту та прилеглих екосистем після значного техногенного впливу. Застосування таких підходів може зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, запобігаючи ерозії та сприяючи родючості ґрунтів. Створення протекційних зон є важливою частиною відновлення екосистем після екологічної катастрофи. Вони забезпечують середовище для відродження біоти і захищають водні ресурси від подальшого забруднення.

Екологічні катастрофи впливають на ці екосистеми, нерідко призводячи до серйозних і довготривалих наслідків. Особливого значення набувають дослідження, спрямовані на вивчення та розроблення стратегій подолання наслідків таких катастроф. Подолання наслідків екологічних катастроф потребує комплексного підходу, що поєднає різні стратегії та технології. Майбутні дослідження мають велике значення для розуміння, як ми можемо найефективніше реагувати на такі ситуації та відновлювати наші екосистеми. Завдяки цим дослідженням ми можемо знайти кращі шляхи захисту нашого середовища та забезпечити стаке майбутнє для нас та наших нащадків.

Обговорення результатів дослідження. Розглянемо отримані результати та їх імплікації щодо подолання екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС. Потрібно сформулювати перспективи інноваційних технологій відновлення екосистем, що підтверджує не тільки актуальність проблеми, але і потребу в сучасних методах її вирішення. Біотехнології можуть надати потужний інструментарій для ефективного відновлення забруднених ділянок, але з використанням комплексного підходу, оскільки неможливо обмежитися однією технологією чи методикою [17]. Це також свідчить про важливість міждисциплінарного підходу, об'єднання досвіду та знань з різних галузей науки [2, 3]. Однак, незважаючи на виклики, правильний науковий підхід може сприяти відновленню та забезпеченню стабільності екосистем. Результати дослідження можуть слугувати основою для подальших наукових робіт [6, 7], зокрема для дослідження інших методів відновлення, аналізу ефективності запропонованих методик на інших об'єктах, а також розроблення нових технологій і підходів до екологічного відновлення.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – обґрунтовано методичний підхід до об'єднання традиційних і новітніх методів подолання наслідків екологічних катастроф. Використано сучасні дослідження та картографічні дані щодо руйнування дамби Каховської ГЕС, що дає змогу глибше зрозуміти масштаби, причини та наслідки екологічних катастроф. Подано нові технології та модифікації для ефективного подолання наслідків екологічних катастроф. Визначено вплив екологічної катастрофи на прикладі Каховської ГЕС, на соціальні структури, економіку та психологічний стан населення, а також методи екологічної адаптації та відновлення. Запропоновані проектні рішення з відновлення Каховського гідровузла та ГЕС є пріоритетним завданням, яке має стратегічне значення для регіону та всієї країни.

Практична значущість результатів дослідження – отримані результати можуть у майбутньому дозволити дослідникам, екологам, урядовим структурам і громадськості отримати неупереджений і фаховий погляд на проблему екологічних катастроф та шляхи їх подолання, а також стимулюватиме подальші дослідження в цій галузі.

Висновки / Conclusions

Відповідаючи на виклики, які спричинила екологічна катастрофа після підриву Каховської ГЕС, можна сформулювати такі конструктивні методи її вирішення:

1. *Інноваційні та технологічні рішення.* Для підтримки життєдіяльності на південно-східних територіях України, особливо в Криму, потрібно застосувати сучасні та нетрадиційні технології. Плавучі насосні системи або артезіанські свердловини можуть стати ефективними рішеннями для забезпечення водою, при цьому новітні проекти і плани допоможуть оптимізувати ресурси.
2. *Державне планування та інфраструктурні проекти.* На початковому етапі реконструкції важливо вдосконалити проектні роботи, щоб гарантувати стабільність основних гідроспоруд. Ефективне планування та реалізація проектів дасть змогу максимально ефективно використовувати ресурси та швидко реагувати на виклики.
3. *Геоінженерні рішення.* Використання геоінженерії може стати відповіддю на виклики екологічних катастроф, оскільки вона пропонує способи відновлення природних ресурсів. Методи, такі як біоремедіація, фітостабілізація або карбонатна мінералізація, дадуть змогу відновити ґрунт, очистити воду та зменшити рівень забруднювачів у навколишньому середовищі.
4. *Біоремедіація та реставрація природних угідь.* Ця методика є однією з найбільш перспективних для очищення ґрунту та води. За допомогою природних мікроорганізмів можливе перетворення токсичних речовин на безпечні для довкілля компоненти. Реставрація природних угідь забезпечить відновлення природних ландшафтів, які були пошкоджені внаслідок екологічної катастрофи.
5. *Відновлювальне землеробство.* Тут ключова роль відведена підходам, які мають на меті відновлення родючості ґрунтів. Регенеративне землеробство пропонує стратегії, які дадуть змогу покращити якість ґрунту, зменшити ерозію та зберегти його родючість.

References

1. Abdelmagied, Reem. (2022). Environmental Disasters: Concepts and Theories, *The International Journal of Humanitarian Studies. International Journal of Humanitarian Technology*, 112–128. URL: https://www.researchgate.net/publication/358746328_Environmental_Disasters_Concepts_and_Theories_The_International_Journal_of_Humanitarian_Studies
2. Becker, T., et al. (2022). A Blueprint for the Reconstruction of Ukraine. *Centre for Economic Policy Research*, London.
3. Boyko, E. O., et al. (2021). Environmental investments: status and prospects of implementation at the micro, meso, and macro levels. *Visnyk KhNAU im. V. V. Dokuchaieva. Seriya: Ekonomichni nauky*. Vol. 3, no 2, 40–49. [In Ukrainian].
4. Grossi, G. & Vakulenko, V. (2022). New development: Accounting for human-made disasters – comparative analysis of the support to Ukraine in times of war. *Public Money & Management*. <https://doi.org/10.1080/09540962.2022.2061694>
5. Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (2023). Geographers of the Academy assessed the consequences of the destruction of Kakhovskaya HPP. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=10200>. [In Ukrainian].
6. Irtysheva, I., et al. (2021). Mechanisms to Manage the Regional Socio-Economic Development and Efficiency of the Decentralization Processes. *International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies*, 694–701.
7. Khilko, M. I. (2017). Environmental security of Ukraine: monograph. Kyiv. 266 p. [In Ukrainian].
8. Moreno, C., R. Aquino, J. Ibarreche, I. Pérez, E. Castellanos, E. Álvarez, R. Rentería, L. Anguiano, A. Edwards, & P. Lepper. (2019). Rivercore: IoT device for river water level monitoring over cellular communications. *Sensor Journal*, 19(1), 127. <https://doi.org/10.3390/s19010127>
9. Novitsky, D. (2023). The undermining of the Kakhovskaya HPP: four categories of consequences and a plan for further actions. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156>. [In Ukrainian].
10. Ranke, Ulrich. (2016). Natural disaster risk management: Geosciences and social responsibility, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20675-2>
11. Sargiacomo, M., Servalli, S., Potito, S., D'Andreamatteo, A., & Gitto, A. (2021). Accounting for natural disasters from a historical perspective: A literature review and research agenda. *Accounting History*, 26(2), 179–204. <https://doi.org/10.1177/10323732211003173>
12. Shutyak, S. (2023). Declaration of an ecological disaster due to the explosion of the Kakhovskaya HPP: legal consequences. URL: <https://unba.org.ua/publications/8198-ogoloshennya-ekologichnoi-katastrofi-unaslidok-pidrivu-kahovskoi-ges-pravovi-naslidki.html>. [In Ukrainian].
13. Starodubtsev, V., Haychenko, V., Ladyka, M. (2023). The destruction of the Kakhovskaya HPP is a man-made, ecological and social disaster. URL: <https://nubip.edu.ua/node/129255c>
14. Troung, N., Sun, K., Wang, S., Guitton, F., & Guo, Y. (2021). Privacy preservation in federated learning: An insightful survey from the GDPR perspective. *Computer & Security*, 110, 10/2021. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102402>
15. Ukrainian Institute of the Future (2023). Pidryv Kakhovskoyi HES. Sim holovnykh pytan' i vidpovidey. URL: <https://glavcom.ua/digest/pidriv-kakhovskoji-hes-sim-holovnykh-pitan-i-vidpovidey-935161.html>. [In Ukrainian].
16. Warsini, S., Mills, J., & Usher, K. (2014). Solastalgia: Living With the Environmental Damage Caused By Natural Disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*, 29(1), 87–90. <https://doi.org/10.1017/S1049023X13009266>
17. Wen, J., Wan, C., Ye, Q., et al. Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation and Their Linkages with Sustainable Development over the Past 30 Years: A Review. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14, 1–13 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00472-3>

U. I. Bornyak¹, Ye. M. Kryvokhyzha²

¹ Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

² West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine

MODERN METHODS OF OVERCOMING THE CONSEQUENCES OF AN ENVIRONMENTAL DISASTER USING THE EXAMPLE OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER PLANT

The paper deals with the research of ways to minimize and overcome the consequences of environmental disasters using the situation with the Kakhovka hydroelectric power plant as an example. The authors analyze in detail the history of the creation and operation of hydroelectric power plants, the consequences for the ecosystem of the region and the impact on the life of local communities. They offer a number of strategies and recommendations for overcoming existing environmental problems and preventing possible

ones in the future. Among these recommendations are the improvement of water resources management, the introduction of the latest environmental technologies and the activation of public control. The paper is a valuable source of information for researchers, politicians, ecologists, and anyone interested in preserving and restoring nature after anthropogenic impacts. In a general conclusion, modern methods of overcoming the consequences of environmental disasters on the example of the Kakhovskaya hydroelectric power plant include a comprehensive approach to restoration that uses natural, scientifically based techniques and technologies. They make it possible to effectively restore ecosystems after disasters, minimizing the impact on the environment and ensuring their sustainable future. The paper emphasizes the importance of observing environmental safety during the operation of hydropower facilities and finding a balance between energy needs and the preservation of natural resources. The basis of the analysis is scientific data, statistics, as well as the results of the authors' own experiments, which highlight changes in the ecosystem as a result of the operation of the Kakhovka hydroelectric power plant. This includes research on the impact of hydroelectric power plants on the hydrological regime of the region, flora and fauna, as well as socio-economic consequences for local communities. The importance of implementing the principles of sustainable development in energy including the production of green energy and the rational use of natural resources is considered. Special attention is paid to effective work with the public to ensure support and understanding of the need to implement the proposed solutions. An interdisciplinary approach to the problem was used. Data from various fields of science were involved, which helps create a more accurate picture of the impact of Kakhovka hydroelectric power plant on the environment and possible ways to solve the problems that have arisen. Thus, the paper is a comprehensive study of the problem of the interaction of hydropower facilities and the surrounding natural environment offering constructive ways to solve it.

Keywords: waste minimization; ecological disaster; Kakhovka hydroelectric power plant; ecological indicators; ecosystem restoration.