

**С. Д. Величко**, студентка  
Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Харків

## **РЕТРОСПЕКТИВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ПІДРИВУ КАХОВСЬКОЇ ГРЕБЛІ**

***Анотація.** 6 червня 2023 р. відбувся підрив греблі Каховської ГЕС. Ця подія призвела до значних втрат води у Каховському водосховищі, що стало причиною надзвичайно серйозних наслідків для регіону. Для глибшого розуміння масштабів катастрофи та її впливу на природні та соціально-економічні процеси, проведено докладне дослідження стану водосховища перед подією та після неї для кількісного оцінювання втрат води. Особливістю вирішення поставленої задачі є використання даних космічного моніторингу Землі та застосування сучасних ГІС-технологій. Несуперечливість та адекватність одержаних даних підтверджена їхньою погодженістю з висновками, наданими у звіті НАН України.*

**Ключові слова:** Каховське водосховище, космічні знімки, супутники Sentinel-2, програмне забезпечення ArcGIS, картографічне моделювання.

Каховське водосховище, розташоване на півдні України, було важливим водним об'єктом у регіоні. Займаючи значну територію, воно відігравало ключову роль в багатьох аспектах. Прісна вода з Каховського водосховища використовувалася для питного водопостачання до міст та сіл прилеглих районів, що особливо важливо в умовах, коли інші джерела питної води є недостатніми або непридатними для використання. На водосховищі розташовано Каховську ГЕС, яка генерувала електроенергію з використанням потенціалу водних потоків. Це важливий стратегічний об'єкт електропостачання для регіону, який допомагав забезпечувати стабільну роботу підприємств та мешканців. Воду з водосховища також використовували для зрошення сільськогосподарських земель, забезпечуючи родючість ґрунтів та врожайність у сільському господарстві. Це дозволяло збільшувати виробництво сільськогосподарської продукції для внутрішнього використання та експорту. Таким чином, Каховське водосховище було не лише джерелом води, але й ключовим елементом інфраструктури, який впливав на розвиток енергетики, сільського господарства та загальної економіки регіону [1].

Акцентуючи увагу на ретроспективному аналізі, як вихідні дані розглянемо архівні космічні знімки водосховища до підриву Каховської греблі, зокрема, знімок від 2022-10-18 [2], характеристиками якого є:

- хмарність – 1%;

- джерело даних – Sentinel-2\_L2A (рівень L2A – дані високої якості з обмеженням впливу атмосфери на світло, яке відбивається від поверхні землі та досягає датчика);

- канали B03 та B08;

- роздільна здатність до 10 м.

Для оцінювання площі водної поверхні за супутниковими знімками використано програмне забезпечення ArcGIS, зокрема, модуль ArcGIS Spatial Analyst, що дозволяє класифікувати зображення знімку за певними ознаками та у зручному середовищі створити навчальні вибірки даних та файли сигнатур для цільового аналізу елементів знімку.

Під час аналізу зображення Каховського водосховища проведено класифікацію його елементів за методом максимальної подібності. Як вхідні дані інструменту ArcGIS «Класифікація зображень» подано файл сигнатур, який містить визначені класи та статистику по ним. Для виявлення водних об'єктів за супутниковими даними використано нормалізований диференційний водний індекс (Normalized Difference Water Index, NDWI), який є признаним індикатором для виявлення та моніторингу найменших змін у вмісті водних об'єктів [3]. Значення NDWI розраховано на формулою:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

або для даних зі супутника Sentinel 2

$$NDWI = (B08 - B03) / (B08 + B03),$$

де Green – діапазон видимого зеленого спектру або B08 – діапазон довжини хвилі 500 - 600 нм, NIR – діапазон інфрачервоного спектру або B03 – діапазон довжини хвилі 700 - 1100 нм.

В результаті сформовано картографічну модель водної поверхні Каховського водосховища до підриву греблі. Її фрагмент наведено на рис. 1, де синім кольором позначено дзеркало водосховища.



Рис. 1. Картографічна модель водної поверхні Каховського водосховища станом на 2022 рік

За отриманою картографічною моделлю у програмному забезпеченні ArcGIS, яке гарантує високу точність та достовірність отримання результатів, проведено розрахунок площі дзеркальної поверхні водосховища. Вона сягала 1709,83 км<sup>2</sup>.

Отримані результати ще раз підтверджують щодо трагедії водосховище функціонувало як стабільне водозберігаюче спорудження. Також зазначимо, що

одержані достатньо точні дані про обсяги води наприкінці 2022 р. є початковими даними для оцінювання потенційних втрат води внаслідок підриву греблі.

Для аналізу втрат води внаслідок підриву греблі повторимо попередні дії, але як джерело вихідних даних розглянемо знімок від 2023-10-18 [2], характеристиками якого є:

- хмарність – 6%;
- джерело даних – Sentinel-2\_L2A (рівень L2A – дані високої якості з обмеженням впливу атмосфери на світло, яке відбивається від поверхні землі та досягає датчика);
- канали V03 та V08;
- роздільна здатність до 10 м.

Таким чином, сформовано картографічну модель водної поверхні Каховського водосховища після підриву греблі, фрагмент якої наведено на рис. 2, де синім кольором позначено залишки водної поверхні.



Рис. 2. Картографічна модель водної поверхні Каховського водосховища станом на 2023 рік

За картографічною моделлю у програмному забезпеченні ArcGIS розраховано площі залишкової водної поверхні водосховища, яка сягає 231,03 км<sup>2</sup>. Таким чином, обсяг води скоротився у 7,5 разів, що наочно зображено на підсумковій картограмі, яку утворено поєднанням шарів водної поверхні Каховського водосховища зі знімків 2022 і 2023 рр. Цю картограму представлено на рис. 3. Синім кольором відображено дзеркало водосховища станом на 2022 рік, а голубим – залишки водної поверхні станом на 2023 р.

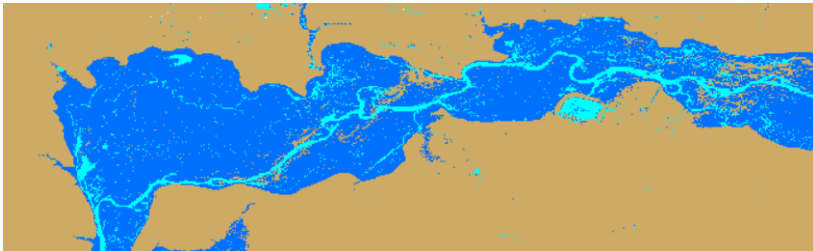


Рис. 3. Картограма території Каховського водосховища (поєднання шарів 2022 та 2023 рр.)

Таким чином, спираючись на ретроспективні дані проведено оцінювання наслідків підриву греблі Каховського водосховища та визначено обсяги втрат води, розуміючи які, можна оцінити негативний вплив на природне середовище, екосистеми, людей та інфраструктуру регіону.

Зазначимо, що отримані кількісні результати корелюються з результатами Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України [4], а отже, запропонований підхід є адекватним та надає дані, пригідні для подальшого використання для формування оцінок.

### Список використаної літератури

1. Каховське водосховище: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://localhistory.org.ua/texts/statti/kakhovske-vodoskhovishche-ostannia-velika-budova-v-ukrayini/>.

2. EO Browser [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.

3. NDWI ArcGIS Pro: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/ndwi.htm>.

4. Повідомлення НАН України: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=10339>

*Науковий керівник – С. Ю. Данишина, д.т.н, професор*