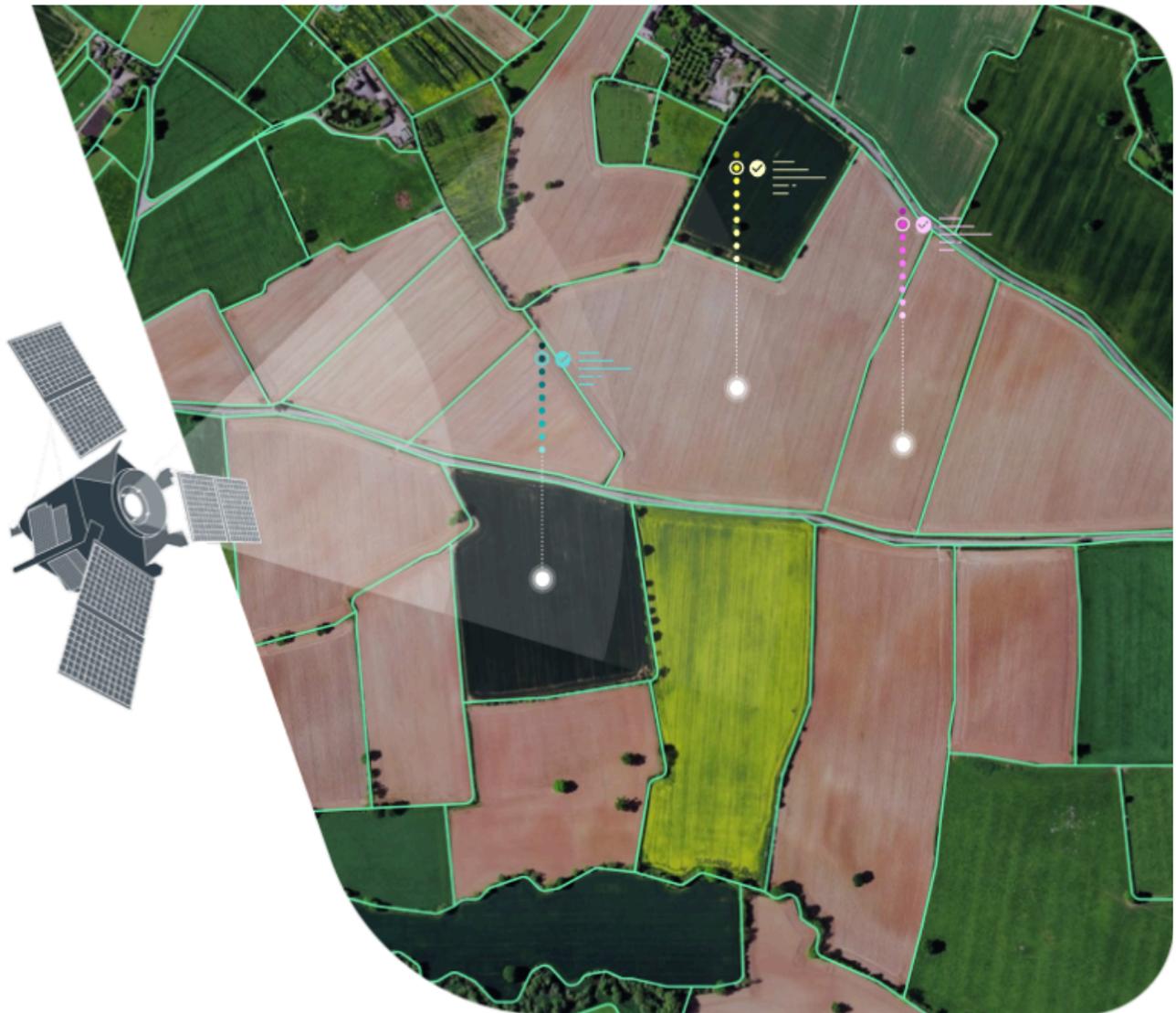


Звіт про проєкт

Виявлення затоплення поблизу Каховської греблі



Версія звіту: 1.0
Дата звіту: 15.03.2024

Зміст

1. Вступ.....	5
1.1. Мета аналізу.....	5
1.2. Аналіз часових масштабів.....	5
1.3. Обсяг просторового аналізу.....	6
Географічні рамки аналізу переміщення вод.....	6
Географічні рамки розрахунку площі затоплення.....	7
2. Дані і методологія.....	8
2.1. Використовувані первинні дані.....	8
Методологія відбору зображень.....	8
Список використаних зображень.....	9
2.2. Обробка даних.....	11
Попередня обробка необроблених зображень.....	11
Оцифрування.....	13
3. Аналіз результатів.....	15
3.1. Результати обробки даних.....	15
Оброблені дані.....	15
Розрахована площа затоплення.....	16
3.1. Візуалізація затоплення (на основі зображень середньої роздільної здатності).....	18
.....	18
.....	19
3.3. Візуалізація конкретних затоплених зон в перші дні (на основі зображень високої роздільної здатності).....	23
ДОДАТОК 1 ЗВЕДЕНИЙ ПЕРЕЛІК ПЕРВИННИХ ТА ОБРОБЛЕНИХ ДАНИХ.....	29

1. Вступ

1.1. Мета аналізу

Метою аналізу є виявлення та візуалізація підтоплення, спричиненого руйнуванням дамби Каховської ГЕС в м. Нова Каховка Херсонської області, Україна, на основі технологій дистанційного зондування Землі з використанням наявних оптичних та радіолокаційних супутникових знімків.

Основними завданнями аналізу є:

- ❖ Візуалізація різних стадій затоплення (та зниження рівня води у водоймі вище Каховської дамби) навколо русла річки Дніпро та частини її притоки – річки Інгулець – на дати, для яких у відкритих джерелах наявні оптичні або радіолокаційні супутникові знімки
- ❖ Аналіз та розрахунок просторової (геометричної) площі затоплення зони нижче Каховської дамби на різних етапах руху води на дати, для яких у відкритих джерелах наявні оптичні або радіолокаційні супутникові знімки

У цьому звіті та додаткових матеріалах візуалізація різних етапів затоплення представлено та описано фахівцями відділів ГІС та аналізу даних EOSDA. Опис та інтерпретація базуються виключно на результатах аналізу супутникових знімків та їх обробки та відображають зміни просторового розподілу води, виявлені на супутникових знімках, доступних від EOSDA під час аналізу

1.2. Аналіз часових масштабів

Період аналізу був обраний відповідно до принципу доцільного використання ресурсів для обробки зображень, детальний аналіз, зокрема, проводився лише за період, коли в досліджуваній у проєкті зоні (AOI) спостерігалися значні зміни в просторовому розподілі води.

Дата початку аналізу – 5 червня 2023 року, за день до підриву дамби (невелика частина досліджуваної зони охоплена і знімками від 3 червня 2023 року, проте переважана частина території проаналізована саме на знімках від 5 червня 2023 року і далі). Ця дата була обрана тому, що вона є найближчою до дня вибуху датою, для якої наявні не закриті хмарністю оптичні зображення.

Кінцевою датою аналізу є 29 серпня 2023 року. Різниця між протяжністю водного простору на попередню (5 липня 2023 р.) та кінцеву дату аналізу є незначною, утім 28 серпня 2023 р. було включено до рамок аналізу, аби гарантувати, що якісь суттєві зміни в просторовому розподілі води в досліджуваній зоні пропущені не будуть.

Таким чином, період, аналізований в рамках проєкту (часова протяжність аналізу), – це 5 червня 2023 року (3 червня 2023 року для незначної частини AOI) – 28 серпня 2023 року. Вся

аналітика та розрахунки проводилися лише на супутникових знімках, які були в наявності протягом зазначеного періоду і відповідали критеріям відбору зображень.

Окрім того, для окремих невеликих ділянок були використані (лише для цілей візуалізації) зображення з високою роздільною здатністю, датовані 6 та 7 червня 2023 року

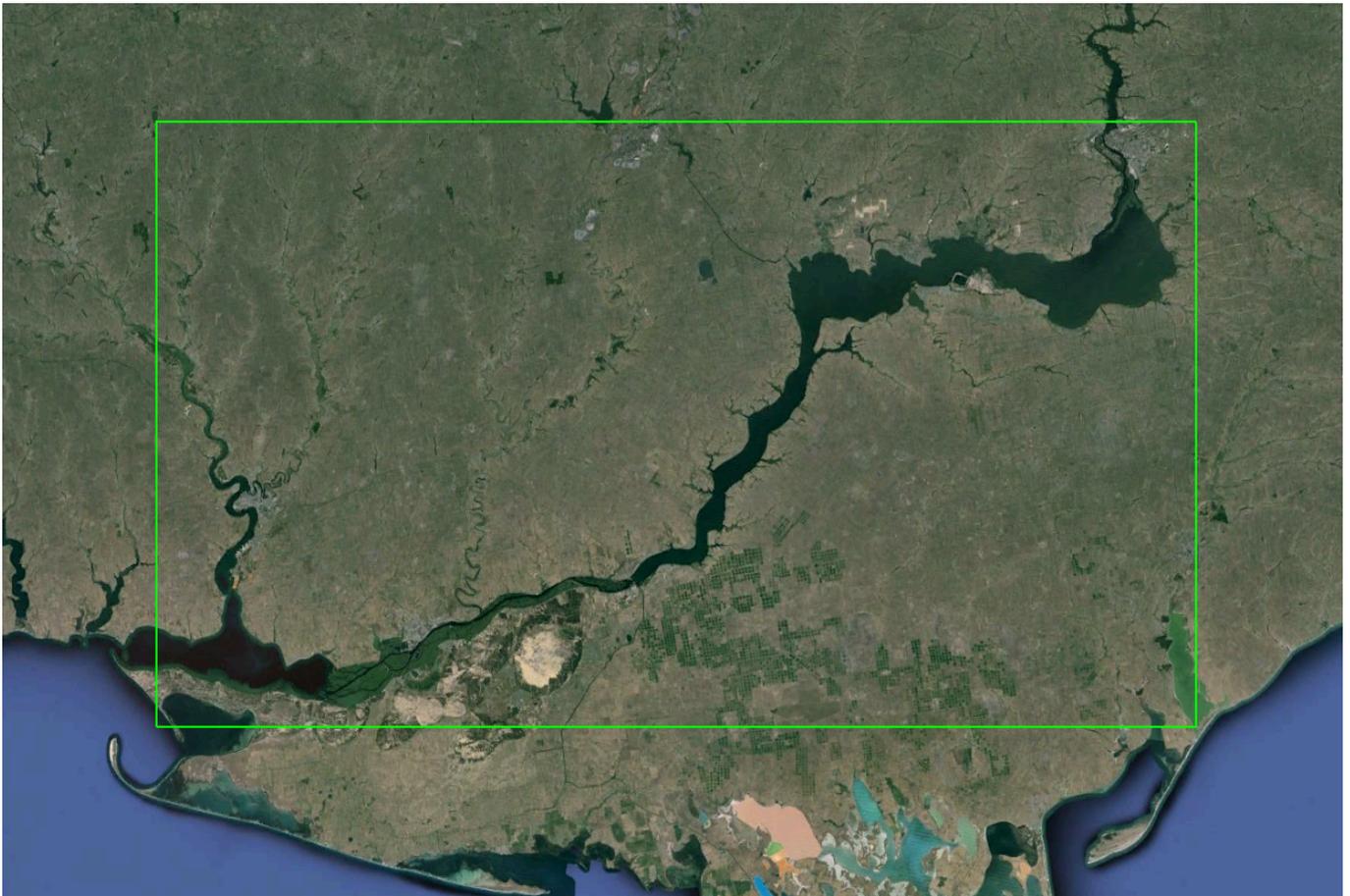
1.3. Обсяг просторового аналізу

Просторові зони, що представляють інтерес для проєкту, були обрані на основі принципу достатнього охоплення територій зі значними змінами просторового розподілу води при збереженні ефективності обробки даних. Цей звіт опирається на дві ключові концепції щодо просторової протяжності: 1) географічні рамки аналізу переміщення вод та 2) географічні рамки розрахунку площі затоплення

Географічні рамки аналізу переміщення вод

Ці рамки відібрані для візуального аналізу змін водної маски за цільовий період часу, виходячи з наявних дат зображень для досліджуваної зони, яка включає русло річки Дніпро від міста Запоріжжя до дельти річки Дніпро нижче міста Херсон, а також додаткову зону річки Інгулець та буферну зону біля річки.

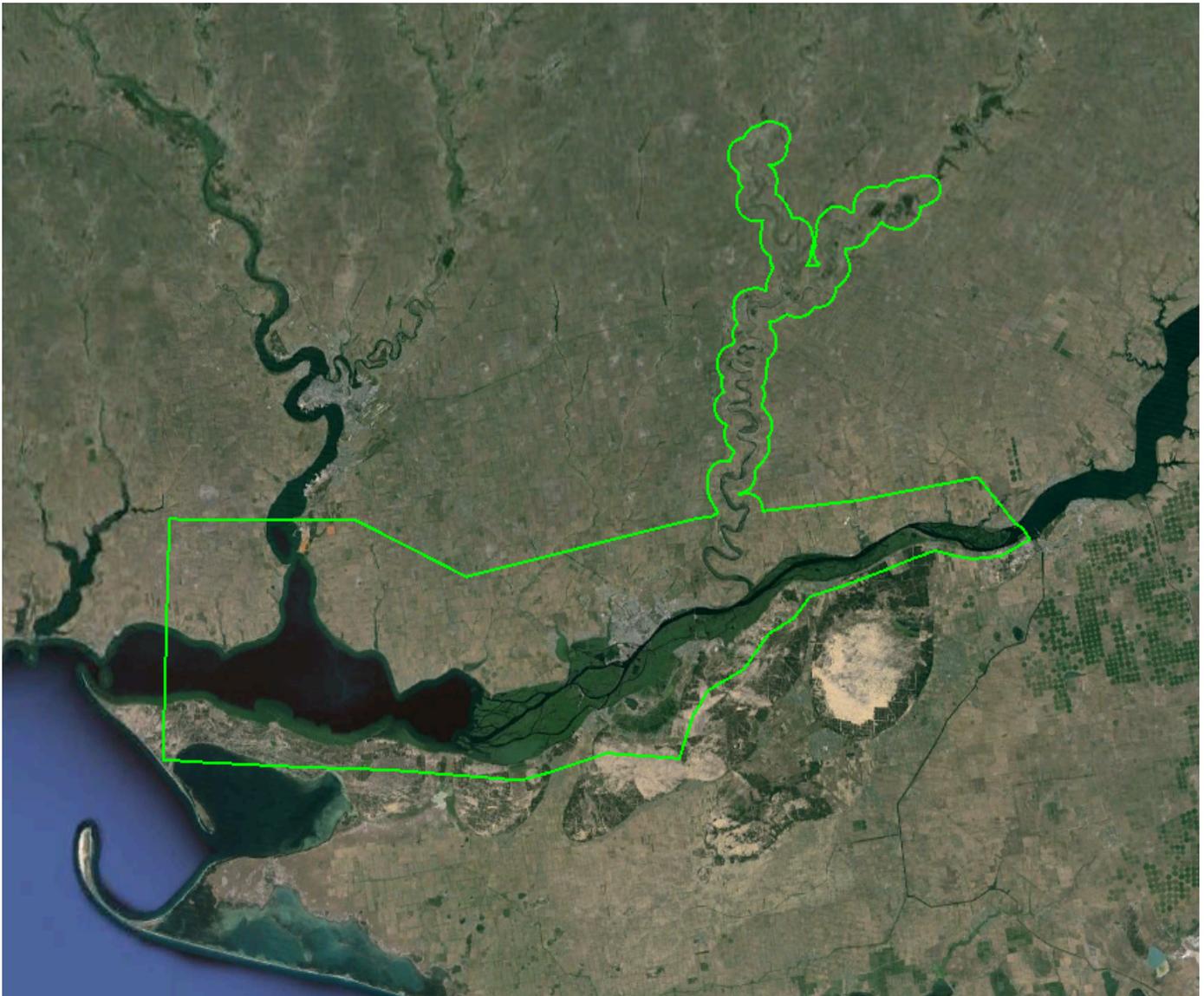
Візуалізація цієї зони проєкту наведена нижче. На наведеному нижче зображенні вказано приблизні контури всієї ділянки, що представляє інтерес для візуалізації, проте під час аналізу детально проаналізовані були лише русла згаданих річок та деякі невеликі буферні зони вздовж русел річок. Щодо цих зон для різних стадій затоплення створюються водні маски з подальшим відображенням у вигляді візуалізації. Для цієї зони створюється лише візуалізація водної маски (це оптимальний варіант з погляду отримання максимально інформативних даних при мінімальних та економічно ефективних ресурсах для обробки)



Географічні рамки розрахунку площі затоплення

Ці рамки обрано для просторового розрахунку площі паводку. Зони затоплення на різні дати розраховуються лише в цих просторових рамках. Ці рамки обрано як оптимальні з огляду на цілі аналізу та ефективність обробки і включають вони русло річки Дніпро нижче дамби до дельти річки Дніпро нижче міста Херсон, а також додаткову зону річки Інгулець та буферну зону вздовж русел річок.

Візуалізація цієї зони проєкту наведена нижче. На зображенні нижче показана схема досліджуваної в проєкті зони для розрахунку площі затоплення; для цих ділянок площі затоплення розраховуються для різних стадій затоплення та надаються у вигляді таблиць/діаграм.



Під час аналізу деякі водні об'єкти були виключені з аналізу з метою ефективнішої обробки, що більш детально описано в наступних розділах цього документа

2. Дані і методологія

2.1. Використовувані первинні дані

Методологія відбору зображень

Для реалізації проекту були використані супутникові знімки з відкритих джерел, які охоплюють досліджувані ділянки (просторова протяжність) та період аналізу (часова протяжність). При виборі супутникових знімків для проекту були використані такі критерії:

- ❖ Зображення охоплює значну частину зони досліджуваної в проекті ділянки

- ❖ Дата та час зображення входять у діапазон дат аналізу (період аналізу проекту, часова протяжність)
- ❖ Оптичним зображенням (за наявності) надавався вищий пріоритет, оскільки вони є більш оптимальними та інформативними для цілей аналізу. Якщо оптичних зображень для потрібної зони та дати бракує, виконується пошук та відбір радіолокаційних зображень (SAR)
- ❖ Пріоритет надається зображенням з вищою роздільною здатністю (10x10 м пікселів). Якщо зображення такої роздільної здатності недоступні для потрібної зони та дати, здійснюється пошук та відбір зображень з нижчою просторовою роздільною здатністю (наприклад, супутник Landsat з роздільною здатністю 30x30м пікселів)
- ❖ Ключовим фактором при відборі оптичних зображень є рівень хмарності на зображенні (% площі зображення, покритої хмарами). Якщо вільні від хмарності зображення для потрібної ділянки та дати недоступні, відбираються радіолокаційні зображення (SAR) або зображення з нижчою просторовою роздільною здатністю

Важливим фактором, що ускладнює аналіз, є висока хмарність у досліджуваному в проєкті районі в перші дні після вибуху на дамбі Каховській ГЕС (6 червня 2023 року, між 02:00 і 04:00). Перше оптичне зображення з відкритих джерел вільне від хмар (з супутника Sentinel-2, з роздільною здатністю 10 м) було доступне на 5 липня 2023 року.

Аби згладити вплив цього фактору, було виконано пошук та обробку радіолокаційних зображень та зображень нижчої роздільної здатності. Використовувалися радіолокаційні зображення Sentinel-1. Період обзору Sentinel-1 (інтервал між двома прольотами над однією точкою на землі) зараз становить від 10 до 15 днів, оскільки на орбіті працює лише один супутник, бо другий супутник, а саме Sentinel-1B, зійшов з орбіти 23 грудня 2021 року (аварійне припинення роботи супутника), але ми змогли отримати таке зображення на необхідний діапазон дат у перші дні затоплення. Були також використані зображення з оптичного датчика Landsat-9 з роздільною здатністю 30 м. Такі заходи дали змогу отримати аналітику в перші дні після вибуху на дамбі, а саме 9 червня 2023 року.

Список використаних зображень

У таблиці нижче наведено перелік зображень, що використовуються для охоплення досліджуваних в проєкті ділянок з метою подальшого аналізу. Таблиця містить інформацію про дати зображення та тип датчика, а також ідентифікатори оригінальних зображень від постачальників зображень

Дата й час	Датчик	ID зображення	Примітки
Зображення середньої роздільної здатності			
05.06.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230605T083601_T36TVT	Оптичний датчик, 10m

Дата й час	Датчик	ID зображення	Примітки
05.06.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230605T083601_T36TWS	Оптический датчик, 10m
05.06.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230605T083601_T36TXT	Оптический датчик, 10m
05.06.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230605T083601_T36UXU	Оптический датчик, 10m
03.06.2023,08:45	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230603T084559_T36TVS	Оптический датчик, 10m
03.06.2023,08:45	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230603T084559_T36TVT	Оптический датчик, 10m
08.06.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230608T08460_T36TVS	Оптический датчик, 10m
08.06.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230608T08460_T36TVT	Оптический датчик, 10m
08.06.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230608T08460_T36TWS	Оптический датчик, 10m
08.06.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230608T08460_T36TWT	Оптический датчик, 10m
05.07.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230705T083601_T36TVT	Оптический датчик, 10m
05.07.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230705T083601_T36TWS	Оптический датчик, 10m
05.07.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230705T083601_T36TWT	Оптический датчик, 10m
05.07.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230705T083601_T36TXT	Оптический датчик, 10m
05.07.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230705T083601_T36UXU	Оптический датчик, 10m
03.07.2023,08:46	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230703T084609_T36TVS	Оптический датчик, 10m
03.07.2023,08:46	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230703T084609_T36TVT	Оптический датчик, 10m
24.08.2023,08:36	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230824T083611_T36TWS	Оптический датчик, 10m
27.08.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230827T084601_T36TVS	Оптический датчик, 10m
27.08.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230827T084601_T36TVT	Оптический датчик, 10m
27.08.2023,08:46	Sentinel-2A	S2A_MSIL2A_20230827T084601_T36TWT	Оптический датчик, 10m
29.08.2023,08:36	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230829T083609_T36TXT	Оптический датчик, 10m
29.08.2023,08:36	Sentinel-2B	S2B_MSIL2A_20230829T083609_T36UXU	Оптический датчик, 10m
06.06.2023	Landsat-9	LC09_L2SP_179028_20230609_20230611_02_T1	Оптический датчик, 10m

Дата й час	Датчик	ID зображення	Примітки
06.06.2023	Landsat-9	LC09_L2SP_179027_20230609_20230611_02_T1	Оптичний датчик, 10м
06.06.2023,15:37	Sentinel-1A	S1A_IW_GRDH_1SDV_20230609T153657_20230609T153722_048911_05E1BA_81D1	Радарний датчик, 10м
06.06.2023,15:37	Sentinel-1A	S1A_IW_GRDH_1SDV_20230609T153722_20230609T153747_048911_05E1BA_72F1	Радарний датчик, 10м
Зображення високої роздільної здатності			
07.06.2023 08:06	GEOSAT	DE2_PSH_L1C_000000_20230607T080559_20230607T080603_DE2_48592_0278	Оптичний датчик, 0.75m
06.06.2023 08:06	GEOSAT	DE2_PSH_L1C_000000_20230606T075217_20230606T075220_DE2_48577_628E	Оптичний датчик, 0.75m
06.06.2023 08:06	GEOSAT	DE2_PSH_L1C_000000_20230606T075219_20230606T075221_DE2_48577_BFD2	Оптичний датчик, 0.75m
05.07.2023 08:03	GEOSAT	DE2_PSH_L1C_000000_20230705T080334_20230705T080338_DE2_49008_8E66	Оптичний датчик, 0.75m
05.07.2023 08:03	GEOSAT	DE2_PSH_L1C_000000_20230705T080332_20230705T080335_DE2_49008_8CAC	Оптичний датчик, 0.75m

2.2. Обробка даних

Попередня обробка необроблених зображень

Для аналізу та використання зображень на різних етапах готовності необхідно забезпечити попередню обробку зображень; це актуально як для оптичних зображень, так і для радіолокаційних.

Зображення Sentinel-2 та Landsat-8\9 використовуються у [форматі L2A](#). Продукт Level-2A забезпечує атмосферну корекцію зображень з поверхневим відбиттям (SR), отримані з пов'язаних продуктів Level-1C. Кожен продукт Level-2A складається з фрагментів 110x110 км² в картографічній геометрії (проекція UTM/WGS84).



Дані зображення Level-1C (ліворуч) та пов'язані з ними дані зображення Level-1A з поверхневим відбиттям (праворуч), згенеровані за допомогою процесора Sen2Cor

Атмосферна корекція зображень Sentinel-2 включає корекцію розсіювання молекул повітря (розсіювання Релея), ефектів поглинання та розсіювання атмосферних газів, зокрема озону, кисню та водяної пари, а також корекцію поглинання та розсіювання, пов'язаних аерозольними частинками.

У цьому проєкті оптичні зображення для АОІ не вимагали значної попередньої обробки (для деяких ділянок земної поверхні зображення рівня L2A відсутні, і їх потрібно додатково обробляти від L1C до L2A, але це не вимагалось в проєкті, тому були застосовані готові до використання зображення L2A).

Радолокаційні зображення потребують більш складної попередньої обробки. Зображення Sentinel-1 використовуються у форматі GRD. [Продукти Level-1 Ground Range Detected](#) (GRD) складаються з фокусованих даних SAR, які були виявлені, піддані багатовибірковій обробці та спроектовані на наземну відстань з використанням еліпсоїдної моделі Землі. Еліпсоїдна проекція продуктів GRD коригується за допомогою висоти рельєфу, зазначеної в загальній анотації продукту. Використана висота рельєфу варіюється за азимутом, але є постійною за дальністю. Координати горизонтальної дальності – це координати нахильної дальності, спроектовані на еліпсоїд Землі. Значення пікселів представляють виявлену величину.

Для виявлення водних об'єктів провадиться додаткова попередня обробка на основі алгоритму, розробленого в EOSDA (він є ІВ компанії і не може оприлюднюватися). Для отримання растрової маски, яка потім може бути використана для базової обробки та

перетворена в векторний шар для редагування, застосовується спеціальна поляризація в поєднанні з вибраними коефіцієнтами та спекл-фільтри.

Спекл-функція видаляє спекл у наборах радарних даних та згладжує шум, зберігаючи при цьому контури та різкість на зображенні. Спекл – це високочастотний шум, який присутній на радіолокаційних зображеннях. На зображеннях, що генерують лазерні, ультразвукові та радари з синтезованою апертурою (SAR), спекл-шум присутній через інтерференцію зворотних електромагнітних хвиль, розсіюваних кількома поверхнями. Для фільтрації яскравих і темних плям, які утворюються в результаті інтерференції, застосовується спекл-функція на основі математичних моделей, завдяки якій забезпечується якісніша інтерпретація зображення

Оцифровування

Векторизація водних об'єктів здійснюється в напівавтоматичному режимі. Для розрахунку індексу NDWI на основі оптичних супутникових зображень Sentinel-2 та Landsat-8\9 були використані комбінації спектральних смуг.

Для виділення об'єктів відкритих водних поверхонь на супутниковому знімку застосовується нормалізований диференційний індекс вологості (NDWI), що дозволяє водному об'єкту "виділятися" на тлі ґрунту та рослинності. NDWI розраховується за допомогою комбінації GREEN-NIR (видимий зелений та ближній інфрачервоний), що дозволяє виявляти незначні зміни вмісту води у водних об'єктах. Індекс NDWI був запропонований Макфітерсом у 1996 році. Його основним призначенням на сьогодні є виявлення та моніторинг незначних змін вмісту води у водних об'єктах. Використовуючи переваги спектральних діапазонів NIR (ближнього інфрачервоного) та GREEN (видимого зеленого), NDWI здатний посилювати водні об'єкти на супутниковому знімку. Недоліком індексу є те, що він чутливий до будівель, що може призводити до завищення оцінки водних об'єктів.

Рівняння NDWI:

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

Значення водних об'єктів більше 0,5. Рослинність має значно менші значення, що дозволяє легше відрізнити рослинність від водних об'єктів. Збудовані об'єкти мають позитивні значення від 0 до 0,2. Значення NDWI відповідають наступним діапазнам:

- ❖ 0,2 – 1 – Водна поверхня,
- ❖ 0.0 – 0.2 – Затоплення, вологість,
- ❖ -0,3 – 0,0 – помірна посуха, неводні поверхні,
- ❖ -1 – -0.3 – Засуха, неводні поверхні

В результаті отримано растрову маску з межами водних об'єктів (розміром пікселів 10м для Sentinel-2 та 30м для ділянок, охоплених зображеннями з Landsat-8\9).

На наступному етапі растрову маску перетворюють на векторний шар і потім виконують додаткову постобробку векторної маски у напівручному режимі (пошук та усунення аномалій, згладжування векторної маски тощо). Частина завдань після обробки виконується з використанням відбору коефіцієнтів для внутрішніх інструментів QGIS, решта робіт виконується в ручному режимі (це необхідно, оскільки межі водних об'єктів часто мають складну геометрію і для корекції маски потрібно втручання вручну).

При створенні масок для радарних даних Sentinel-1 застосовується аналогічний перелік робіт (послідовність і механіка), проте з урахуванням фізики радіолокаційних зображень, де для створення растрової маски води використовуються попереднього оброблені "сирі" зображення

Розрахунок зон затоплення

Для розрахунку площ затоплення використовується набір інструментів QGIS, зокрема інструмент Measure Area на панелі інструментів Advanced Digitizing. Проекція попередньо змінюється за такими параметрами:

- ❖ Джерело даних: EPSG:32636
- ❖ WGS 84 / UTM зона 36N
- ❖ Одиниця виміру: метри
- ❖ Геодезичний CRS: WGS 84
- ❖ Датум: ансамбль Всесвітньої геодезичної системи 1984

Усі розрахунки проводилися на основі наявних водних масок на дати з наявними зображеннями відповідно до просторової протяжності аналізу (а саме географічної протяжності розрахунку площі затоплення) та часової протяжності аналізу. Площа затоплення розраховувалася як різниця у водних масках для кожної доступної дати порівняно з датою до підриву дамби. Це означає, що кожна дата після підриву з наявною водною маскою порівнювали з водною маскою на дату до вибуху

Статичні водні об'єкти, які потрапили в просторову протяжність аналізу (а саме географічний обсяг розрахунку площі затоплення), були виключені з розрахунків, оскільки вони не впливають на площу затоплення, зате створюють додаткові зусилля щодо обробки. Під статичними водними об'єктами маються на увазі ті лимани, озера, річки тощо, які були виявлені в межах Географічної протяжності розрахунку площі затоплення, які не постраждали від вибуху та переміщення води після вибуху

Щодо оцінки можливої похибки при розрахунках водних масок, то після тривалого аналізу ми дійшли висновку, що змоги точно розрахувати можливе відхилення немає, оскільки на нього впливає велика кількість факторів, а крім того, точність водних масок у різних зонах, досліджуваних у проєкті, може суттєво відрізнятися залежно від конкретної геометрії річки, зокрема від змін геометрію на різні дати через різні рівні затоплення та різні ділянки річки.

Короткий перелік факторів, які можуть негативно вплинути на точність розрахунку площі водних масок та відмінностей у водних масках:

- ❖ Розміри пікселів. Ми припускаємо можливість однопіксельної похибки на краях векторної водної маски. Для зображень Sentinel-1 та Sentinel-2 розмір пікселів становить 10 метрів, а для зображень Landsat-8\9 розмір пікселів – 30 метрів. Підвищити точність на зображеннях такої роздільної здатності, а також точно розрахувати похибку технічно неможливо, оскільки алгоритм при створенні водних масок може для кожного пікселя на межах маски спотворювати дані як донизу, так і вгору.
- ❖ Ко-реєстрація. Негативно впливати на точність може також міжсенсорна ко-реєстрація різних зображень одного супутника та зображень різних супутників. Наприклад, для супутника Sentinel-2 існують такі параметри точності прив'язки зображення: 1) геолокація продуктів Level-2A, уточнених за допомогою GRI, краща, за 12,5 м CE95 2) продуктивність мультичасової реєстрації уточнених продуктів краще за 0,5 пікселів
- ❖ Великий вплив на точність також має складна геометрія водойм. Що складніша геометрія водойм, то потенційно більша похибка.

Незважаючи на високу невизначеність та технічну неможливість точно оцінити потенційну похибку, ми очікуємо, що похибка не може сягати більше 10-15%

3. Аналіз результатів

3.1. Результати обробки даних

Оброблені дані

Ключовими інформаційними точками (шарами), які були отримані в результаті обробки зображень для цілей аналізу в контексті даного проєкту, є водні маски (векторні шари) на різні дати. Для ефективності обробки та для розрахунків була підготовлена водна маска, що складається з трьох частин.

У наведеній нижче таблиці більш детально описані ключові інформаційні точки, отримані в результаті обробки, а саме назви векторних водних масок та їх стисла інтерпретація

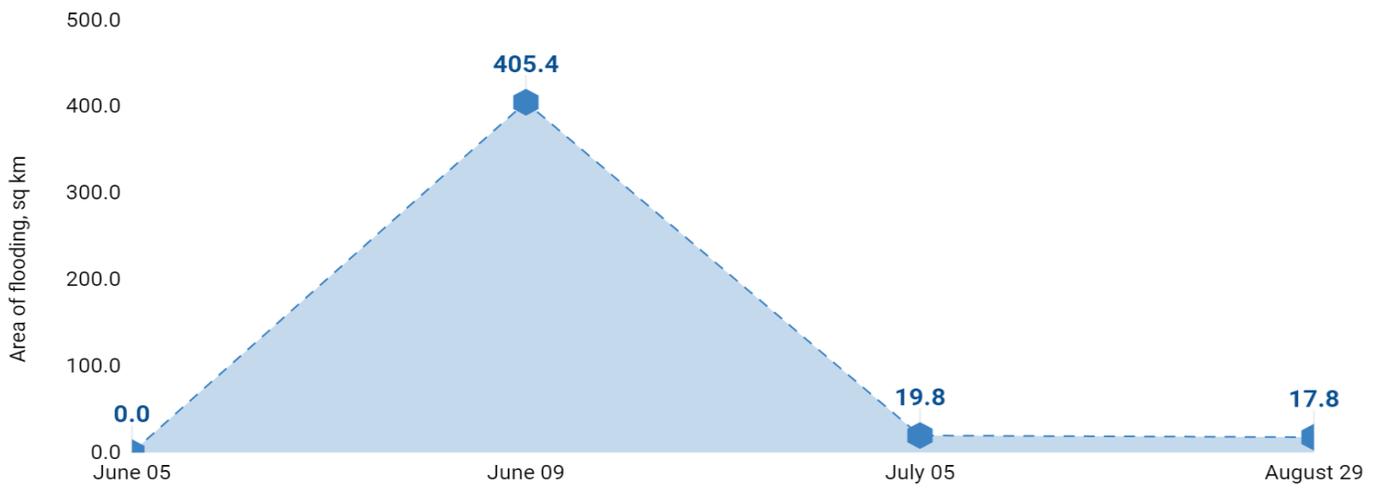
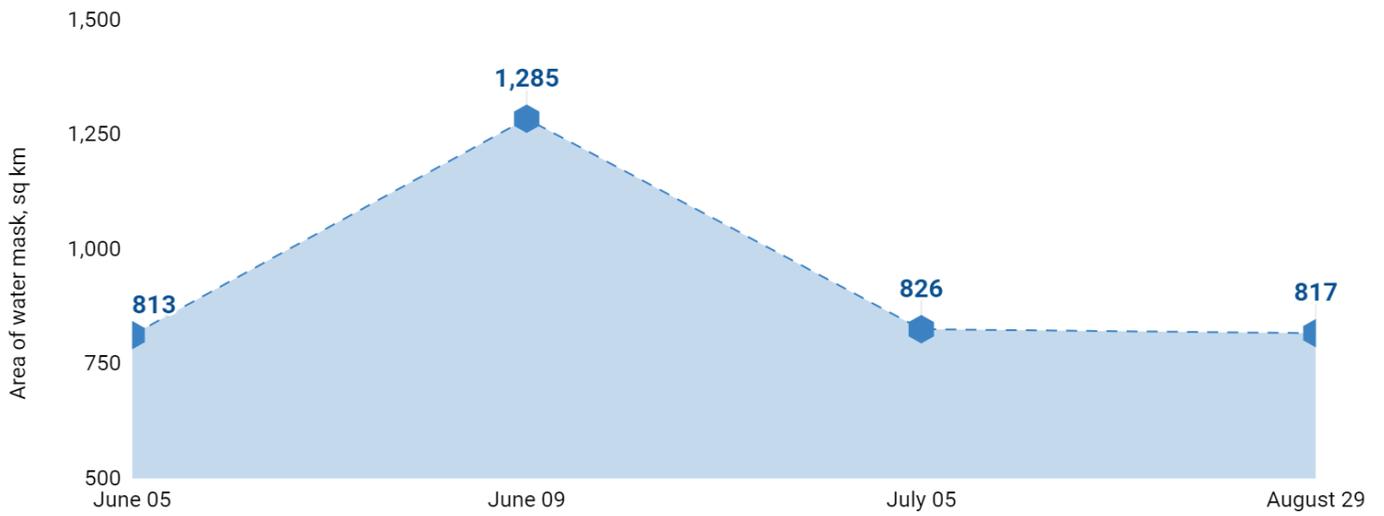
Назва інформаційної точки	Опис
Part_1_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Перша частина маски покриває русло річки Дніпро від греблі
Part_1_09062023.rar	

Назва інформаційної точки	Опис
Part_1_05072023.rar	Каховської ГЕС до Чорного моря (а саме до найзахіднішої точки району в бік моря). Дата маски записується в форматі DDMMYYYY
Part_1_29082023.rar	
Part_2_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Друга частина маски охоплює частину русла річки Інгулець (притока річки Дніпро в межах досліджуваного району). Дата маски записується в форматі DDMMYYYY
Part_2_09062023.rar	
Part_2_05072023.rar	
Part_2_29082023.rar	
Part_3_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Третя частина маски покриває русло річки Дніпро від міста Запоріжжя до початку дамби Каховської ГЕС . Дата маски записується в форматі DDMMYYYY
Part_3_09062023.rar	
Part_3_05072023.rar	
Part_3_29082023.rar	

Розрахована площа затоплення

У таблиці нижче наведено інформацію про загальну площу водної поверхні на різні дати для просторової протяжності аналізу (а саме географічна протяжність розрахунку площі затоплення) та площу затоплення на різні дати (розраховану як різниця у водних масках на дати після та до підриву)

Дата	Датчик	Площа водної маски, кв. км	Діапазон різниці затоплення, кв. км*
05.06.2023	Sentinel-2	812,8749	0
09.06.2023	Sentinel-2	1284.9199	+405.4131
5 липня 2023 р.	Sentinel-2	825,7846	+19.8006
29 серпня 2023 р.	Sentinel-2	817,048	+17,8368

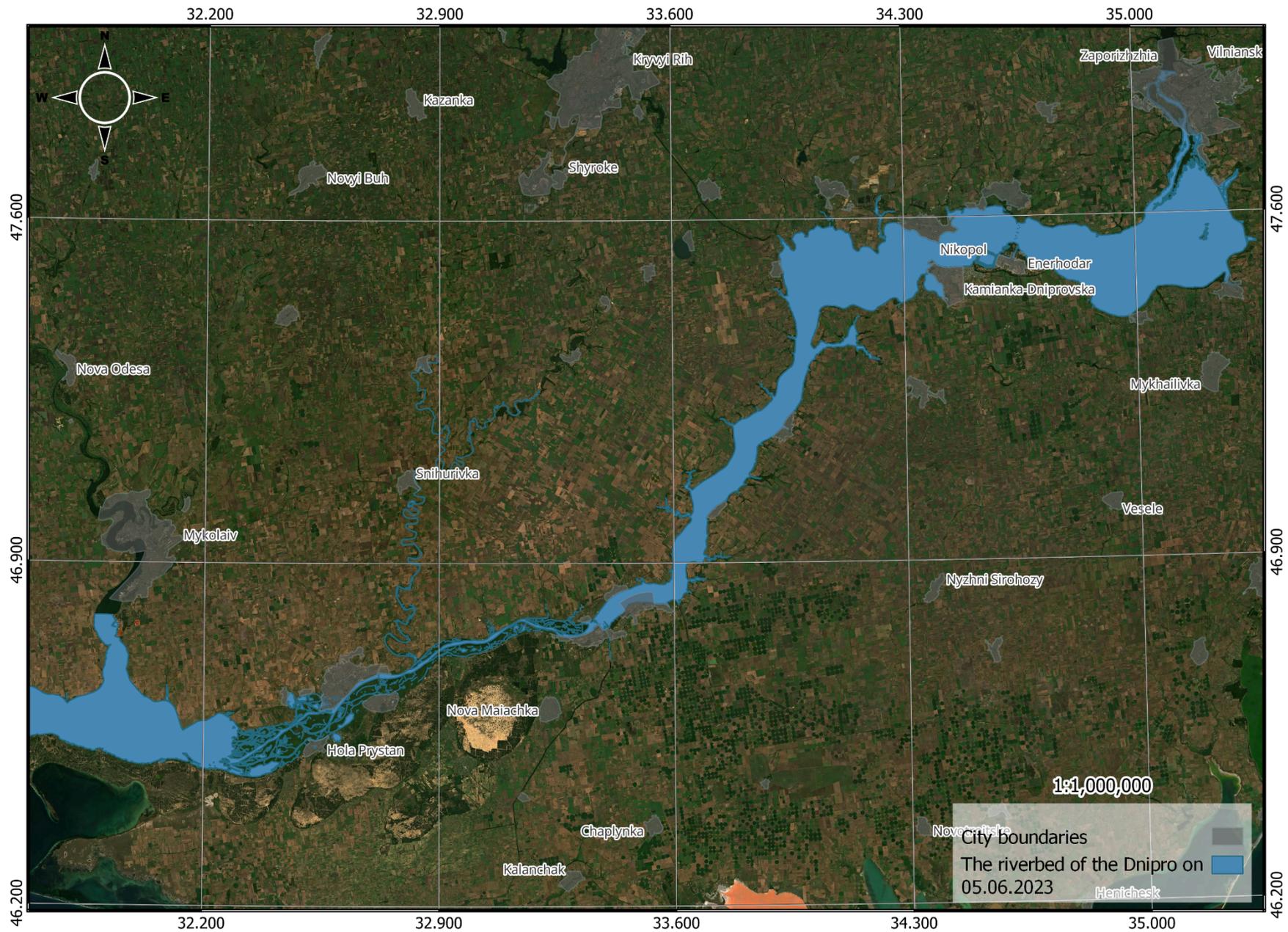


* Порівняно зі станом до підриву дамби (фото від 05.06.2023)

3.1. Візуалізація затоплення (на основі зображень середньої роздільної здатності)



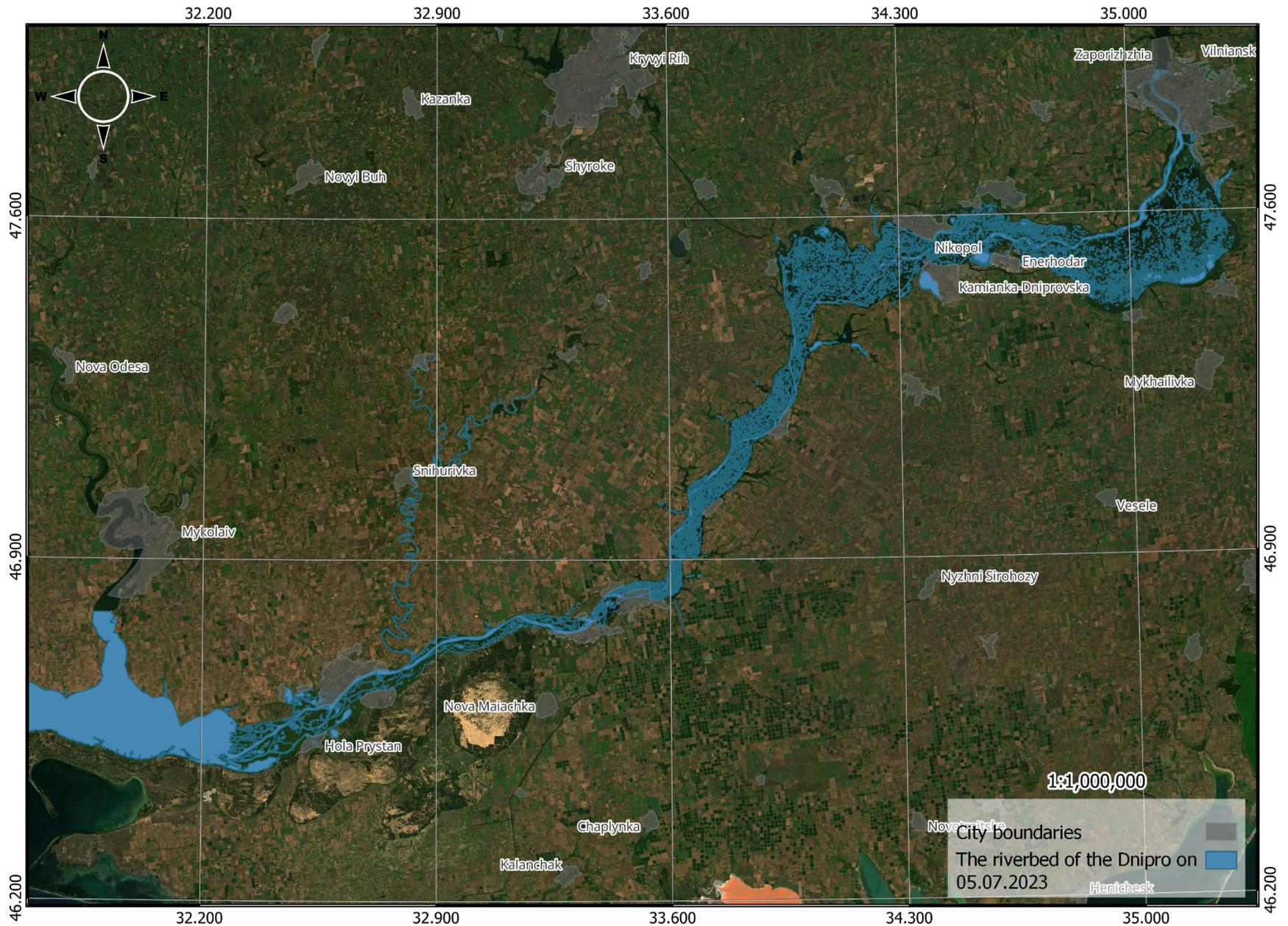
Генеральний план всієї досліджуваної ділянки з водними масками на всі доступні дати, що показує переміщення води за період з 5 червня 2023 року по 29 серпня 2023 року. Найсильніше затоплення ділянки нижче дамби спостерігається на зображенні від 9 червня 2024 року, після якої вода поступово відступає, при цьому спостерігається і поступове зниження рівня води в водоймі.



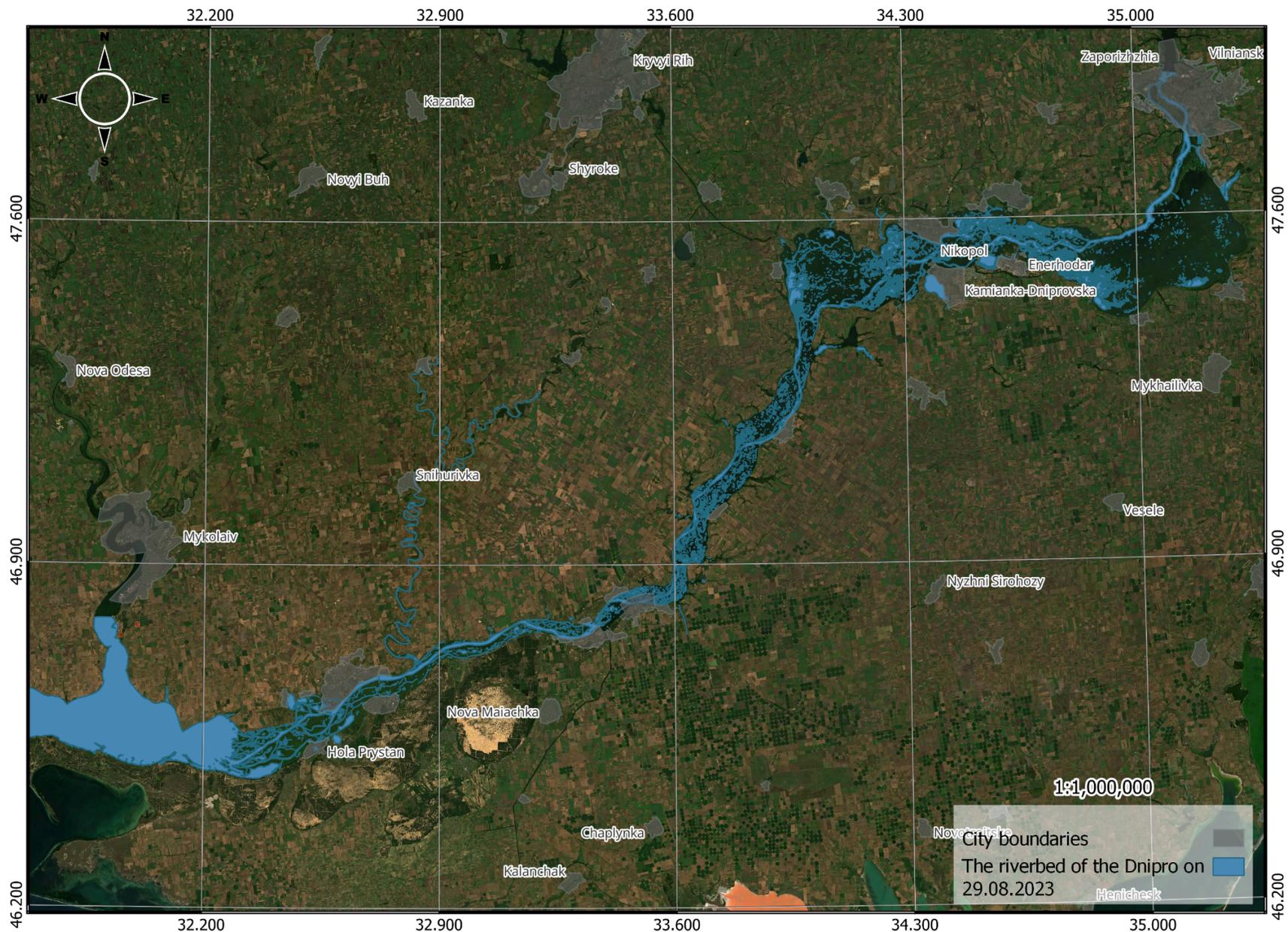
Водяна маска для всієї досліджуваної ділянки (Географічна протяжність аналізу переміщення води) на основі зображення від 5 червня 2023 року, експозиція дамби. Зображення всіх цільових локацій надаються як додаткові матеріали до звіту



Водна маска для всієї досліджуваної ділянки (Географічна протяжність аналізу переміщення води) на основі зображення від 9 червня 2023 року, 3-го дня після експозиції дамби. Значне затоплення спостерігається в буферній зоні річки Інгулець та на ділянці нижче дамби, а також в районі поблизу міста Херсон та міста Олешки



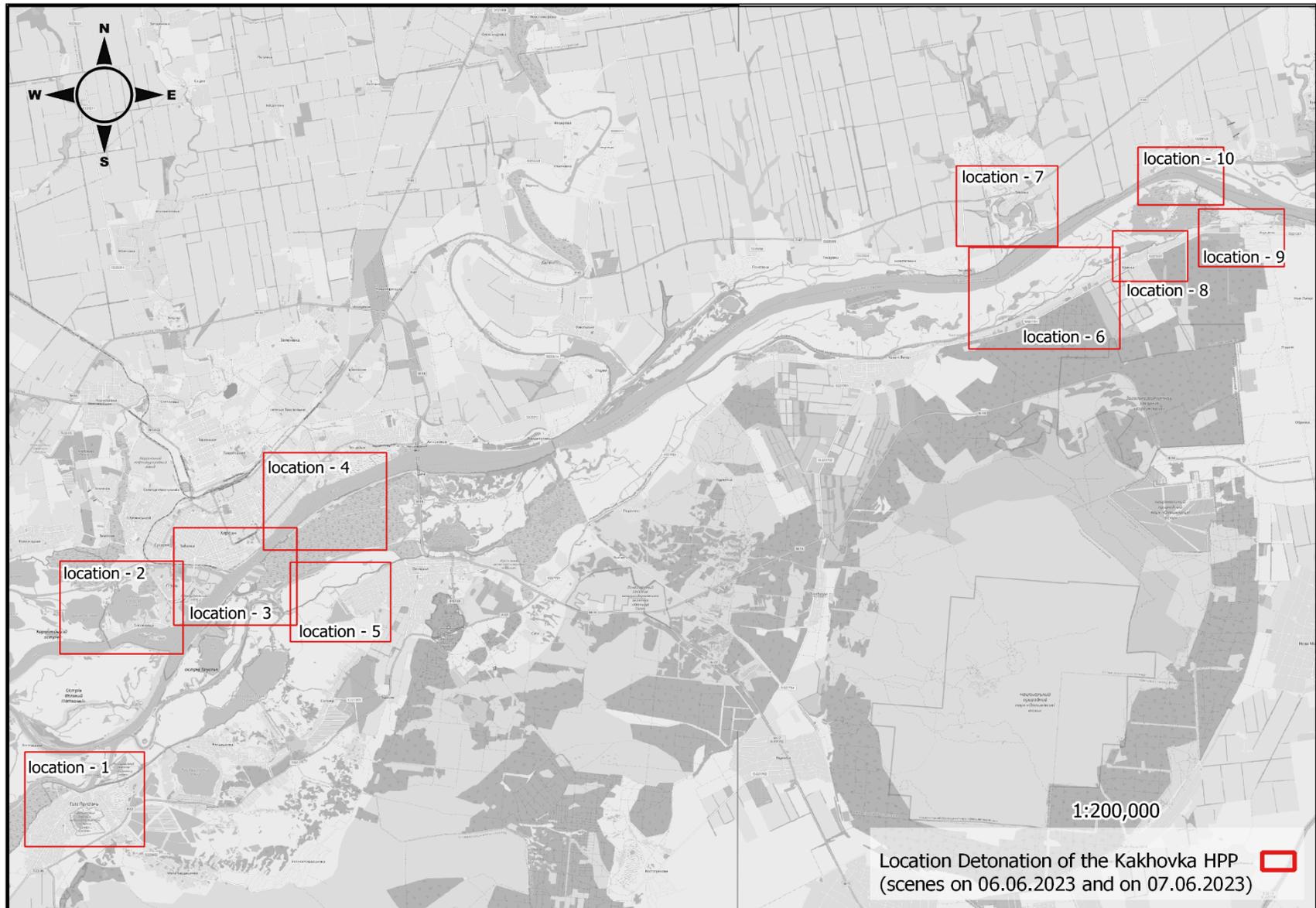
Водна маска для всієї досліджуваної ділянки (Географічна протяжність аналізу переміщення води) на основі зображення від 5 червня 2023 року. Супутникові знімки показують падіння рівня води нижче дамби майже до рівня, що був до вибуху, а також подальше поступове зниження рівня води та обміління Каховського водосховища та русла річки Дніпро над дамбою в цілому



Водна маска для всієї досліджуваної ділянки (Географічна протяжність аналізу переміщення води) на основі зображення від 29 серпня 2023 року. Супутникові знімки показують подальше зниження рівня води та обміління Каховського водосховища та русла річки Дніпро вище дамби

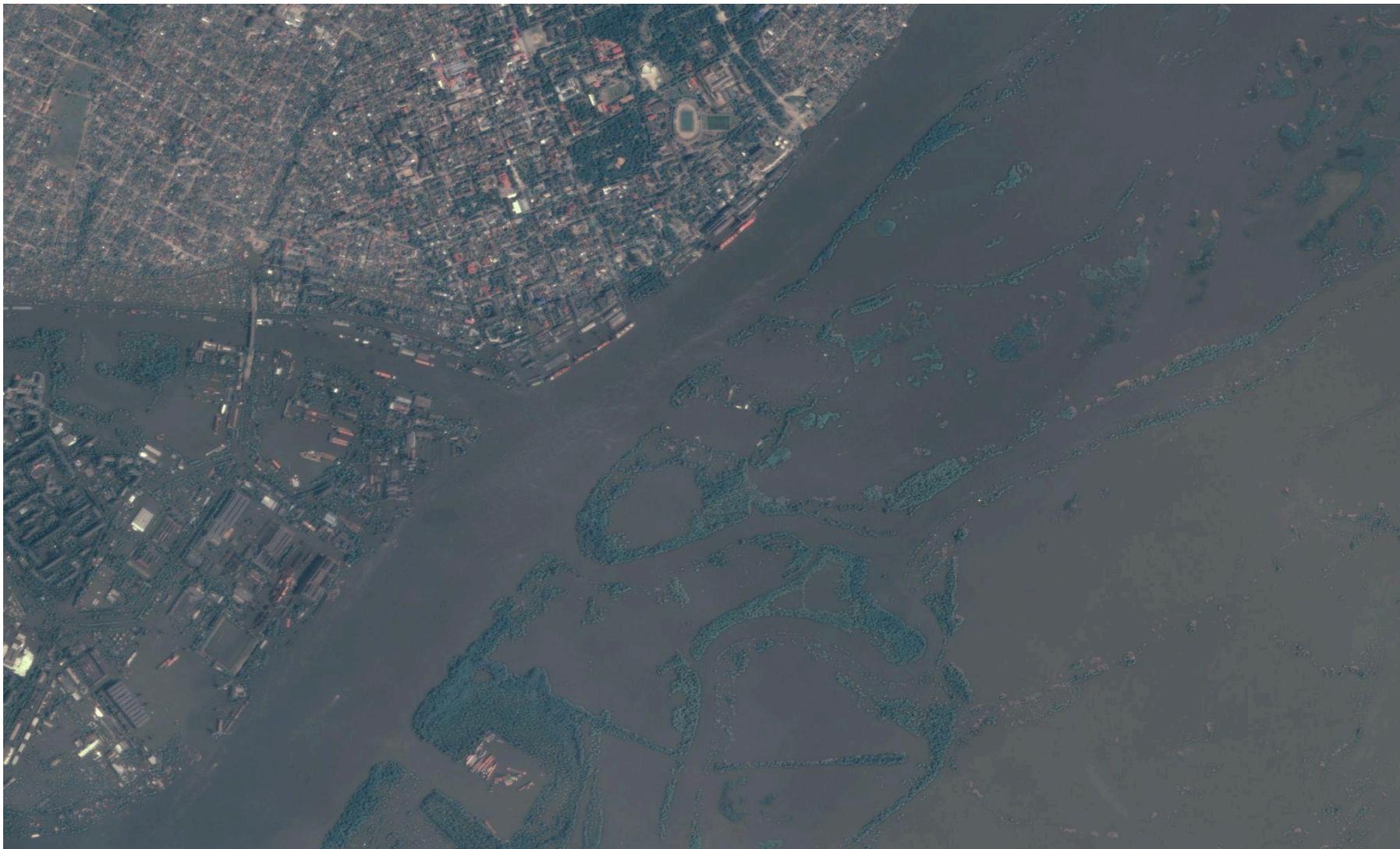
3.3. Візуалізація конкретних затоплених зон в перші дні (на основі зображень високої роздільної здатності)

32.900

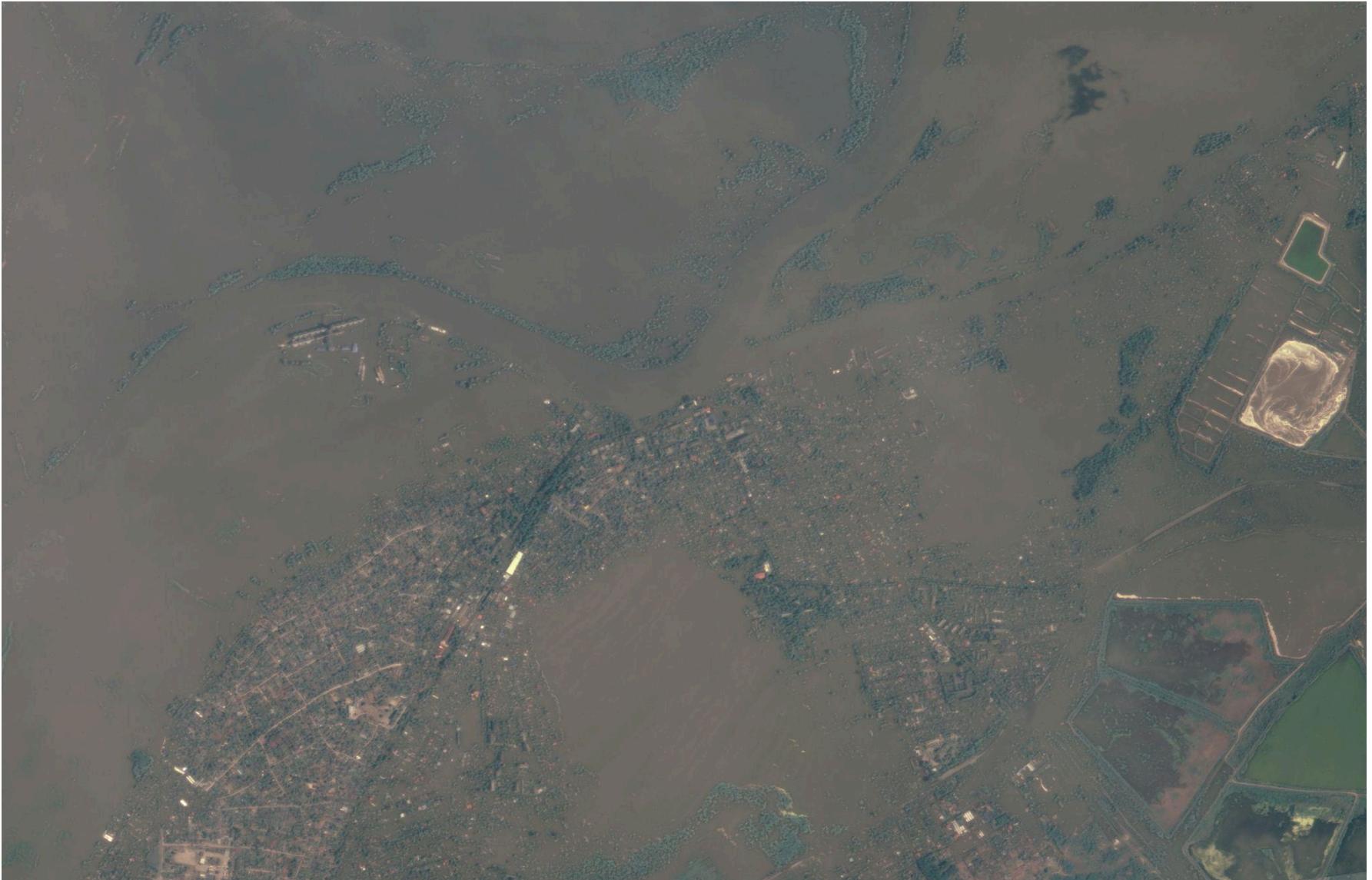


32.900

Генеральний план із визначеними областями, для яких доступні високоякісні та вільні від хмарності зображення високої роздільної здатності. Деякі зони (локації) детально представлені нижче (у вигляді зображення RGB). Зображення всіх цільових локацій надаються як додаткові матеріали до звіту



Повінь в Локації 1, знімок Geosat від 7 червня 2023 року, роздільна здатність 0,75 метра



Затоплення в Локачії 4, знімок Geosat від 7 червня 2023 року, роздільна здатність 0,75 метра



Затоплення в Локації 1, знімок Geosat від 6 червня 2023 року, роздільна здатність 0,75 метра Для інформаційного контенту зображення піддавалося пост-обробці з застосуванням фільтрів контрасту, оскільки того дня спостерігалася найгірша якість зображення через погодні умови



Затоплення в Локації 4, знімок Geosat від 6 червня 2023 року, роздільна здатність 0,75 метра Для інформаційного контенту зображення піддавалося пост-обробці з застосуванням фільтрів контрасту, оскільки того дня спостерігалася найгірша якість зображення через погодні умови

ДОДАТОК 1 ЗВЕДЕНИЙ ПЕРЕЛІК ПЕРВИННИХ ТА ОБРОБЛЕНИХ ДАНИХ

#	Найменування	Опис
Растрові зображення (шлях до файлів на Google Діску: Результати -> Растрові зображення)		
1	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36TVT	<p>Папки із RAW-зображеннями з супутника Sentinel-2, що використовуються в проєкті у форматі, отриманому від провайдера. Кожна папка містить набір метаданих та растрових зображень (окремі смуги, комбінація смуг)</p> <p>Інтерпретація назви папки: Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_[satellite name]_[image date in DDMM format]_[tile ID]</p> <p>Шлях до файлів на Google Діску: Результати -> Растрові зображення -> Sentinel-2</p>
2	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36TVS	
3	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36TVT	
4	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36TWS	
5	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36TWT	
6	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36TXT	
7	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0605_T36UXU	
8	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0608_T36TVT	
9	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0703_T36TVS	
10	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0703_T36TVT	
11	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36TVT	
12	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36TWS	
13	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36TWT	
14	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36TXT	
15	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36UXU	
16	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0705_T36UXU	
17	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0827_T36TVS	
18	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0827_T36TVT	
19	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0827_T36TWT	
20	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0829_T36UXU	
21	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_2_0829_T36TXT	

#	Найменування	Опис
22	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_1_0609_05E1BA_72F1	<p>Папки із RAW-зображеннями з супутника Sentinel-2, що використовуються в проєкті у форматі, отриманому від провайдера. Інтерпретація назви папки: Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_[satellite name]_[image date in DDMM format]_[tile ID]</p> <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Raster images -> Sentinel-1</p>
23	Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_Sentinel_1_0609_05E1BA_81D1	
24	Contains_USGS_data_2023_Landsat_0609_179027	<p> UNTRANSLATED_CONTENT_START Folders with raw images of the Landsat-8\9 satellite, used in the project in the format received from the provider. UNTRANSLATED_CONTENT_END Інтерпретація назви папки: Contains_Copernicus_Sentinel_data_2023_[satellite name]_[image date in DDMM format]_[tile ID]</p> <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Raster images -> Landsat-8\9</p>
25	Contains_USGS_data_2023_Landsat_0609_179028	
26	Location_1_Before.jpg	<p>Зображення з високою роздільною здатністю RGB протягом перших днів після підриву дамби. Представляє різні зони (локації), для яких доступні зображення.</p> <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Raster images -> High-resolution images -> June 6, 2023 Results -> Raster images -> High-resolution images -> June 7, 2023</p>
27	Location_1_After.jpg	
28	Location_2_Before.jpg	
29	Location_2_After.jpg	
30	Location_3_Before.jpg	
31	Location_3_After.jpg	
32	Location_4_Before.jpg	
33	Location_4_After.jpg	
34	Location_5_Before.jpg	
35	Location_5_After.jpg	
36	Location_6_Before.jpg	
37	Location_6_After.jpg	
38	Location_7_Before.jpg	
30	Location_7_After.jpg	
40	Location_8_Before.jpg	
41	Location_8_After.jpg	
42	Location_9_Before.jpg	
43	Location_9_After.jpg	
44	Location_10_Before.jpg	
45	Location_10_After.jpg	

#	Найменування	Опис
46	Розташування зображень_OSM basemap.png	Генеральний план із визначеними ділянками, для яких доступні високоякісні та вільні від хмарності зображення високої роздільної здатності. Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Raster images -> High-resolution images
Векторні шари (шлях до файлів на Google Диску: Results -> Vector layers)		
47	Part_1_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Перша частина маски покриває русло річки Дніпро від греблі Каховської ГЕС до Чорного моря (а саме до найзахіднішої точки району в бік моря). Дата маски записується в форматі DDMMYYYY Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Vector layers -> Water masks_part_1
48	Part_1_09062023.rar	
49	Part_1_05072023.rar	
50	Part_1_29082023.rar	
51	Part_2_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Друга частина маски охоплює частину русла річки Інгулець (притока річки Дніпро в межах досліджуваного району) . Дата маски записується в форматі DDMMYYYY Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Vector layers -> Water masks_part_2
52	Part_2_09062023.rar	
53	Part_2_05072023.rar	
54	Part_2_29082023.rar	
55	Part_3_05062023.rar	Векторні водні маски для дат з наявними зображеннями у форматі ESRI Shapefile (zip, архів містить набір файлів, необхідних для відкриття маски в QGIS або інших інструментах ГІС). Третя частина маски покриває русло річки Дніпро від міста Запоріжжя до початку дамби Каховської ГЕС . Дата маски записується в форматі DDMMYYYY Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Vector layers -> Water masks_part_3
56	Part_3_09062023.rar	
57	Part_3_05072023.rar	
58	Part_3_29082023.rar	
59	View_small.zip	Кінцеві векторні шари досліджуваної ділянки, використані для проєкту (скориговані до оптимального розміру та пропорції сторін відповідно до вимог) Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Vector layers -> AOI_edited
60	View_reservoir.zip	
61	View_upstream.zip	
62	View_downstream.zip	
Файли візуалізації (шлях до файлів на Google Диску: Results -> Visualization)		
63	Overall scheme.png	Генеральний план різних зон для візуалізації тих, що обрано для проєкту відповідно до вимог Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Visualization
64	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	Карти водних масок та карти різниці водних масок у великому масштабі 1:1 000 000 для досліджуваного району на різні дати, для яких доступні зображення. Всі карти представлені у високій (300 т/д) та дуже високій (1200 т/д) роздільній здатності для різних варіантів використання
65	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
66	09062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	

#	Найменування	Опис
67	09062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	 <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 5, 2023 Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 9, 2023 Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> July 5, 2023 Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> August 29, 2023</p>
68	09062023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
69	09062023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
70	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
71	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
71	05072023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
73	05072023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
74	29082023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
75	29082023_Water extent_Sentinel (1300 dpi).png	
76	29082023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
	29082023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
77	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	<p>Карти водних масок та карти різниці водних масок середнього масштабу 1:400 000 для зони Каховського водосховища на різні дати, для яких доступні зображення. Всі карти представлені у високій (300 т/д) та дуже високій (1200 т/д) роздільній здатності для різних варіантів використання</p>  <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 5, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Reservoir -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 9, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Reservoir -> Maps_Sentinel-2 basemap -> July 5, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Reservoir -> Maps_Sentinel-2 basemap -> August 29, 2023</p>
77	05062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
79	09062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
80	09062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
81	09062023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
82	09062023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
83	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
84	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
85	05072023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
86	05072023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
87	29082023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
88	29082023_Water extent_Sentinel (1300 dpi).png	
89	29082023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
90	29082023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
91	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	<p>Карти водних масок та карти різниці водних масок середнього масштабу 1:400 000 для вузької частини Каховського водосховища та зони Інгулець на різні дати. Всі карти представлені у високій (300 т/д) та дуже високій (1200 т/д) роздільній здатності для різних варіантів використання</p>
92	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
93	09062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
94	09062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
95	09062023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	

#	Найменування	Опис
96	09062023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	 <p>Шлях до файлів на Google Диску: Results -> Visualization -> 1:1 000 000 -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 5, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Reservoir -> Maps_Sentinel-2 basemap -> June 9, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Upstream -> Maps_Sentinel-2 basemap -> July 5, 2023 Results -> Visualization-> 1:400 000 -> Upstream -> Maps_Sentinel-2 basemap -> August 29, 2023</p>
97	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
98	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
99	05072023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
100	05072023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
101	29082023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
102	29082023_Water extent_Sentinel (1300 dpi).png	
103	29082023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
104	29082023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
105	05062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
106	05062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
107	09062023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
108	09062023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
109	09062023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
110	09062023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
111	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
112	05072023_Water extent_Sentinel (1200 dpi).png	
113	05072023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
114	05072023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	
115	29082023_Water extent_Sentinel (300 dpi).png	
116	29082023_Water extent_Sentinel (1300 dpi).png	
117	29082023_Difference mask_Sentinel (300 dpi).png	
118	29082023_Difference mask_Sentinel (1200 dpi).png	