



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

РОЗРОБЛЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НАСЛІДКІВ ТЕХНОГЕННОЇ КАТАСТРОФИ НА КАХОВСЬКІЙ ГЕС

Виконав: Родченко О.А

Керівник: канд. техн. наук, доц. кафедри ГІФ, Надія Лазоренко,



КИЇВ-2024

Актуальність дослідження

Пов'язана як із важливістю цифрового моделювання компонентів природного середовища при вирішенні завдань оцінки наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС, так і водночас у зв'язку з обмеженим доступом до території дослідження із необхідністю пошуку ефективних методів ведення моніторингу засобами дистанційного зондування.

Мета: розробити геоінформаційну систему для моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технологічно-методологічних рішень стосовно ведення геоінформаційного моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС.

Можливі предмети і об'єкти моніторингу

Предмет	Об'єкти	Характеристики
Гідро-морфологічні параметри	Масив поверхневих вод Каховського водосховища, прилеглі річкові системи	Рівень води, обсяг води, напрямки течій, затоплення/ осушення територій
Якісний стан вод	Масиви поверхневих вод	Біологічний, хімічний та фізико-хімічний склад
Екологічні параметри	Прибережні екосистеми, водно-болотні угіддя	Біорізноманіття, природні середовища, зміни флори і фауни
Соціально-економічні аспекти	Населені пункти, інфраструктура	Водопостачання, економічні збитки, вплив на агросектор
Зони впливу на здоров'я	Території, що зазнали впливу	Якість питної води, санітарно-епідемічна безпека

Роль ДЗЗ у здійсненні моніторингу

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним з найпотужніших інструментів для моніторингу та вивчення природних ресурсів, екосистем і антропогенного впливу на довкілля.

Першочергово системи дистанційного зондування здатні збирати детальну інформацію про межі і характеристики земельних покривів.

Оптичні системи здатні виявляти та аналізувати широкий перелік показників на основі мультиспектральних даних. Системи ДЗЗ дозволяють оцінювати контури та якісний стан водних об'єктів, моніторити вологість ґрунту, здоров'я рослинного покриву, атмосферні умови та температуру поверхні. Мультиспектральний аналіз, завдяки використанню різних діапазонів (від видимого до інфрачервоного та радіохвильового), дає змогу ідентифікувати вміст хлорофілу, ступінь забруднення та інші екологічні характеристики.

Радарні системи, такі як **SAR** здатні виявляти особливості рельєфу тим самим забезпечуючи моніторинг морфологічних характеристик ґрунту. Також вони здатні визначати поверхневу вологість ґрунту на основі характеру відбиття радіохвиль від ґрунту в залежності від рівня вологи.

Хвильові і частотні діапазони, які використовуються сучасними системами дистанційного зондування

Оптичне дистанційне зондування ґрунтується на понятті спектральної сигнатури об'єкта. Її можна визначити як унікальну структуру довжин хвиль, випромінюваних об'єктом.

Сучасні мультиспектральні сенсори здатні реєструвати та розрізняти електромагнітне випромінювання у широкому спектральному діапазоні високою спектральною роздільною здатністю.

- **Видимий діапазон** (400–700 нм): Дозволяє оцінювати зелену масу рослинності через індекси, такі як NDVI, а також ідентифікувати контури водних об'єктів та забруднення.

- **Ближній інфрачервоний** (NIR, 700–1300 нм): Чутливий до вмісту вологи в рослинності та ґрунті. Використовується для оцінки здоров'я рослинного покриву та аналізу вологого ґрунту.

- **Середній інфрачервоний** (SWIR, 1300–3000 нм): Використовується для визначення вологості ґрунту та мінерального складу; цей діапазон чутливий до вмісту води в ґрунті та рослинах, що допомагає у виявленні стресу рослин і вологості.

- **Термальний інфрачервоний** (TIR, 8000–14000 нм): Вимірює теплове випромінювання для оцінки температури поверхні,

Це дозволяє ідентифікувати різноманітні типи земельних покривів та отримувати інформацію про їхні характеристики, такі як вологість, фізико-хімічний склад, температура, а також визначати специфічні властивості матеріалів.

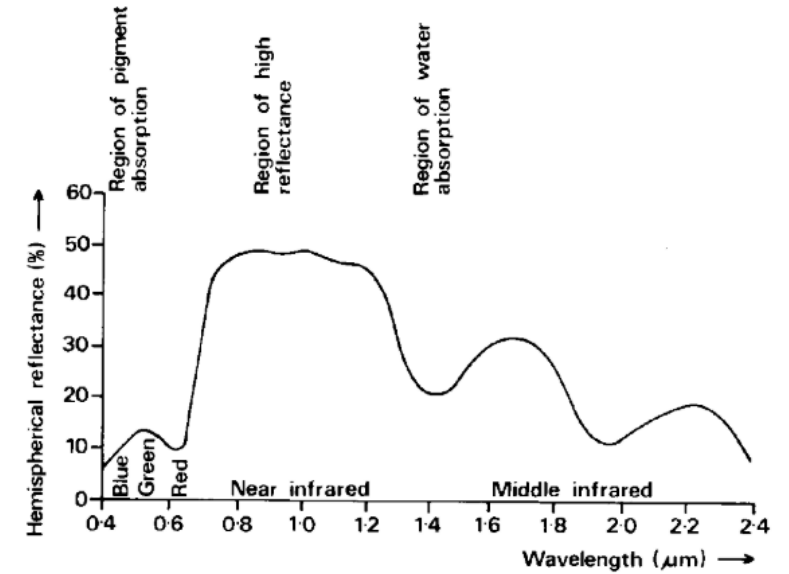
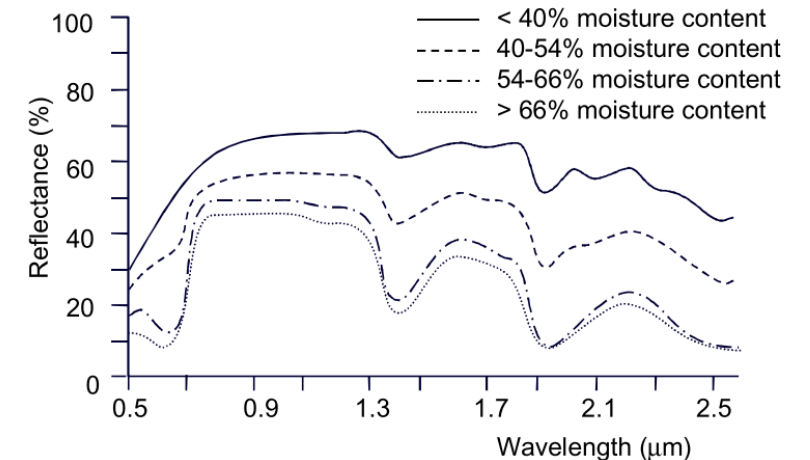


Fig. 1: Spectral reflectance of leaf

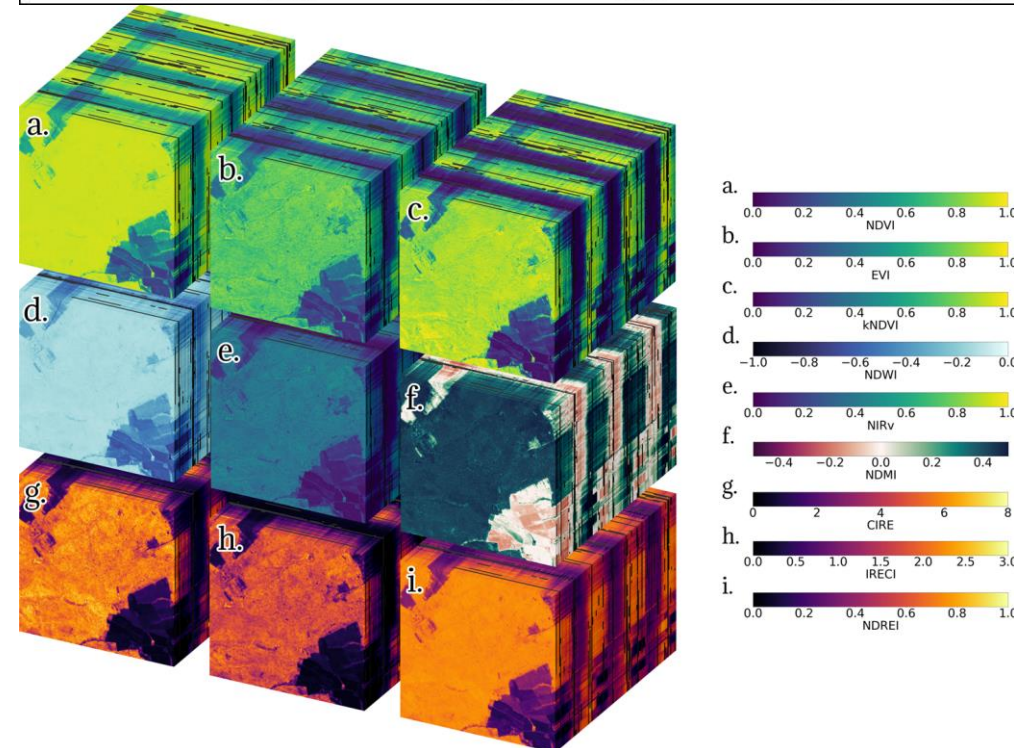
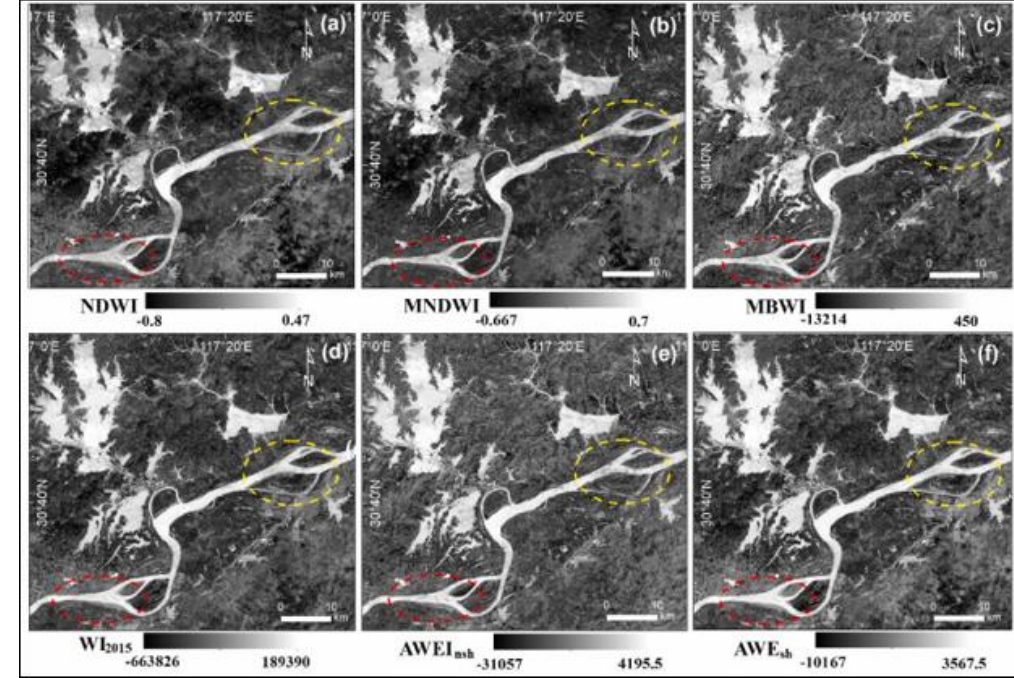


Застосування спектральних індексів

Спектральні індекси – це комбінації значень відбиття в різних спектральних діапазонах, що обчислюються для підсилення певних характеристик об'єктів на поверхні Землі. Вони розроблені для того, щоб акцентувати конкретні властивості об'єктів, які можуть бути нечіткими або складними для прямого аналізу через окремі спектральні канали.

Кожен тип матеріалу (вода, рослинність, ґрунт) має унікальний спектральний підпис, що відображає, як цей матеріал відбиває або поглинає світло в різних частинах спектра. Наприклад, здорова рослинність активно поглинає червоне світло (для фотосинтезу) і має високе відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні, тоді як вода сильно поглинає як видиме, так і інфрачервоне випромінювання.

Спектральні індекси створені таким чином, щоб підсилювати ці відмінності. Наприклад, найбільш відомий індекс, **NDVI** (нормалізований вегетаційний індекс), обчислюється як різниця між ближнім інфрачервоним і червоним діапазонами, поділена на їх суму. Це дозволяє NDVI виокремлювати рослинність, оскільки індекс має високі значення для здорових рослин, середні — для деградованих або пошкоджених рослин і низькі для ґрунтів і водних поверхонь.



Виявлення показників за допомогою спектрального аналізу

Показники	Індекси	Опис методів
Контури водного дзеркала	NDWI, MNDWI, AWEI, WI2015, MBWI	Використовуються для визначення контурів водних об'єктів, розрізнення води та інших поверхонь.
Якісний стан води	ABI, SPM, WCI, CI (Chlorophyll Index), TSI (Trophic State Index), FUI (Floating Algae Index)	Індекси дозволяють оцінювати рівень хлорофілу та фітопланктону, виявляти водорості, вивчати трофічний стан.
Рослинний покрив	NDVI, RVI, DVI, EVI, PVI, IAVI, SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	Використовуються для оцінки біомаси, щільності та здоров'я рослинного покриву. SAVI корисний при наявності оголеного ґрунту.
Вологість ґрунту	NDWI, SMI (Soil Moisture Index), LST (Land Surface Temperature)	NDWI дає загальну оцінку вологості, а SMI обчислює об'ємну вологість ґрунту. LST може використовуватись для оцінки вологості через теплові властивості.
Температурний режим	LST (Land Surface Temperature), STI (Surface Temperature Index), Ts (Surface Temperature)	Використовується для моніторингу температури поверхні, що впливає на водний баланс та випаровування.
Суспензії у воді	TSM (Total Suspended Matter), Turbidity Index	Оцінюють наявність твердих частинок у воді, що впливають на якість води та прозорість.
Органічні речовини у воді	CDOM (Colored Dissolved Organic Matter), TOC (Total Organic Carbon)	Виявляють розчинені органічні речовини, важливі для оцінки забруднення та якості води.

Google Earth Engine (GEE) - хмарна обчислювальна платформа, здатна вирішити найбільш важливі проблеми, пов'язані з картографуванням земельного покриву великих територій.

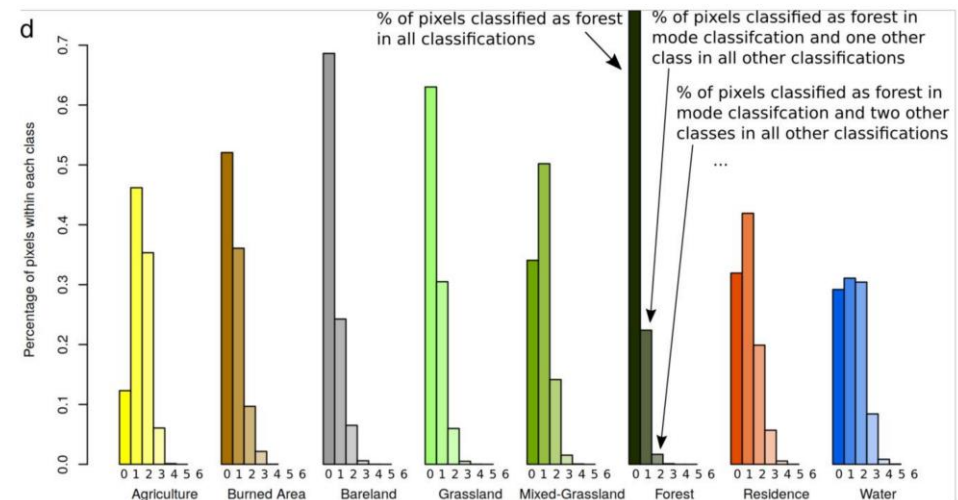
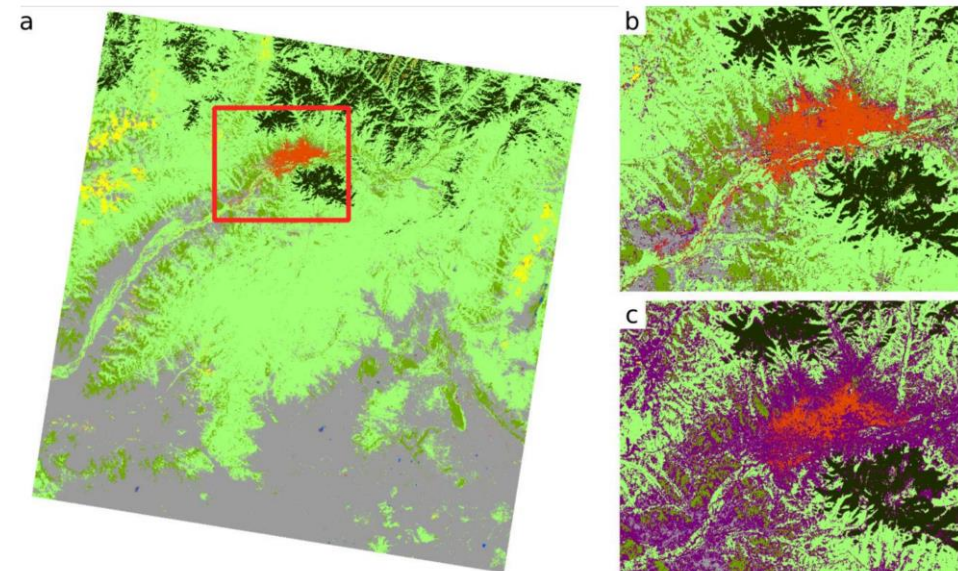
Підтримка власного коду та API:

- Інтерфейс підтримує мову JavaScript, що дозволяє користувачам писати власні скрипти для аналізу та візуалізації.
- Earth Engine також має API для Python, що відкриває можливість для інтеграції з іншими інструментами аналітики.

Підтримка машинного навчання:

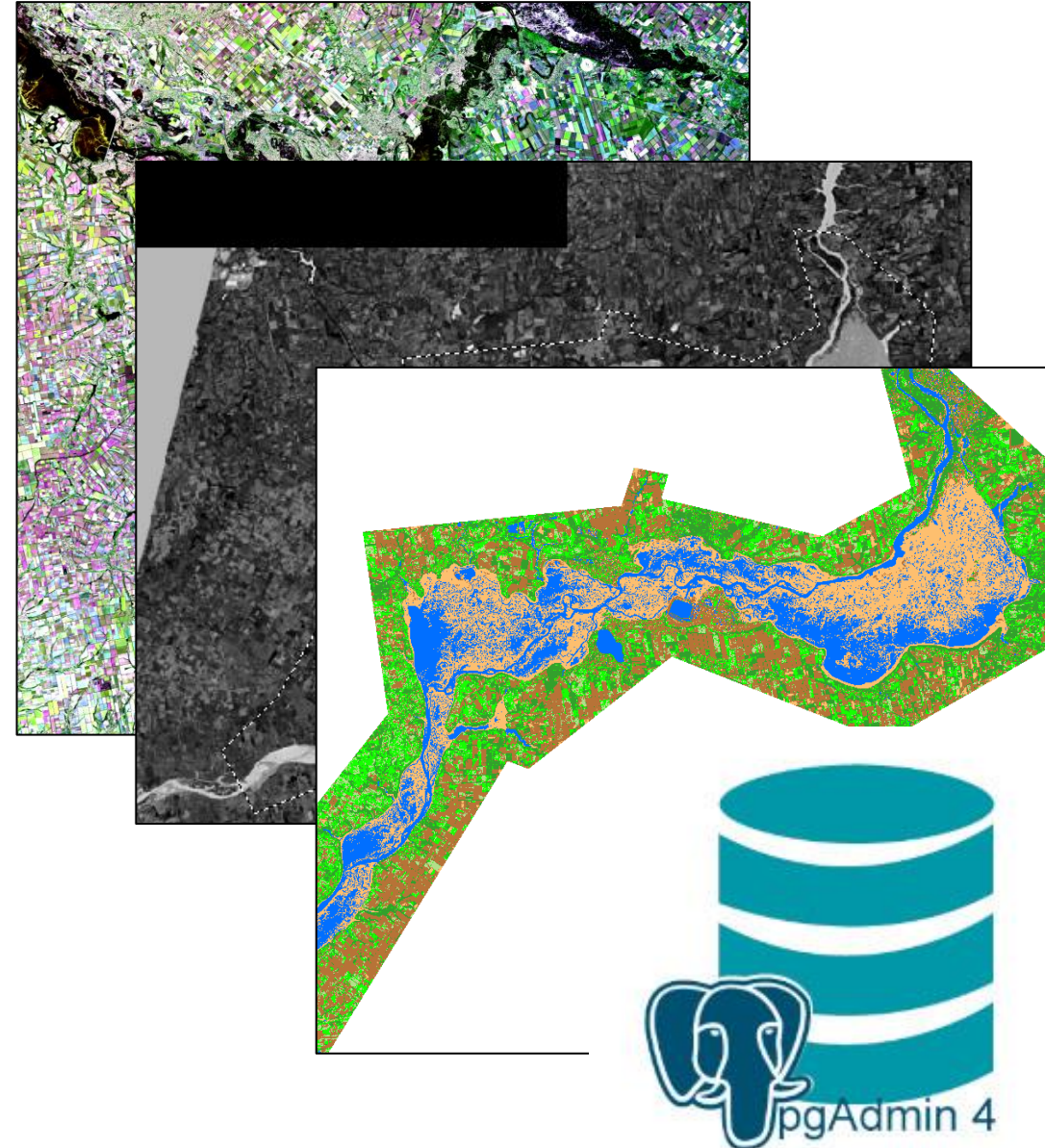
- Google Earth Engine містить інструменти для класифікації та регресії, що можна використовувати для класифікації земного покриття, виявлення змін тощо.
- Інтеграція з TensorFlow та іншими бібліотеками дозволяє будувати та застосовувати моделі глибокого навчання

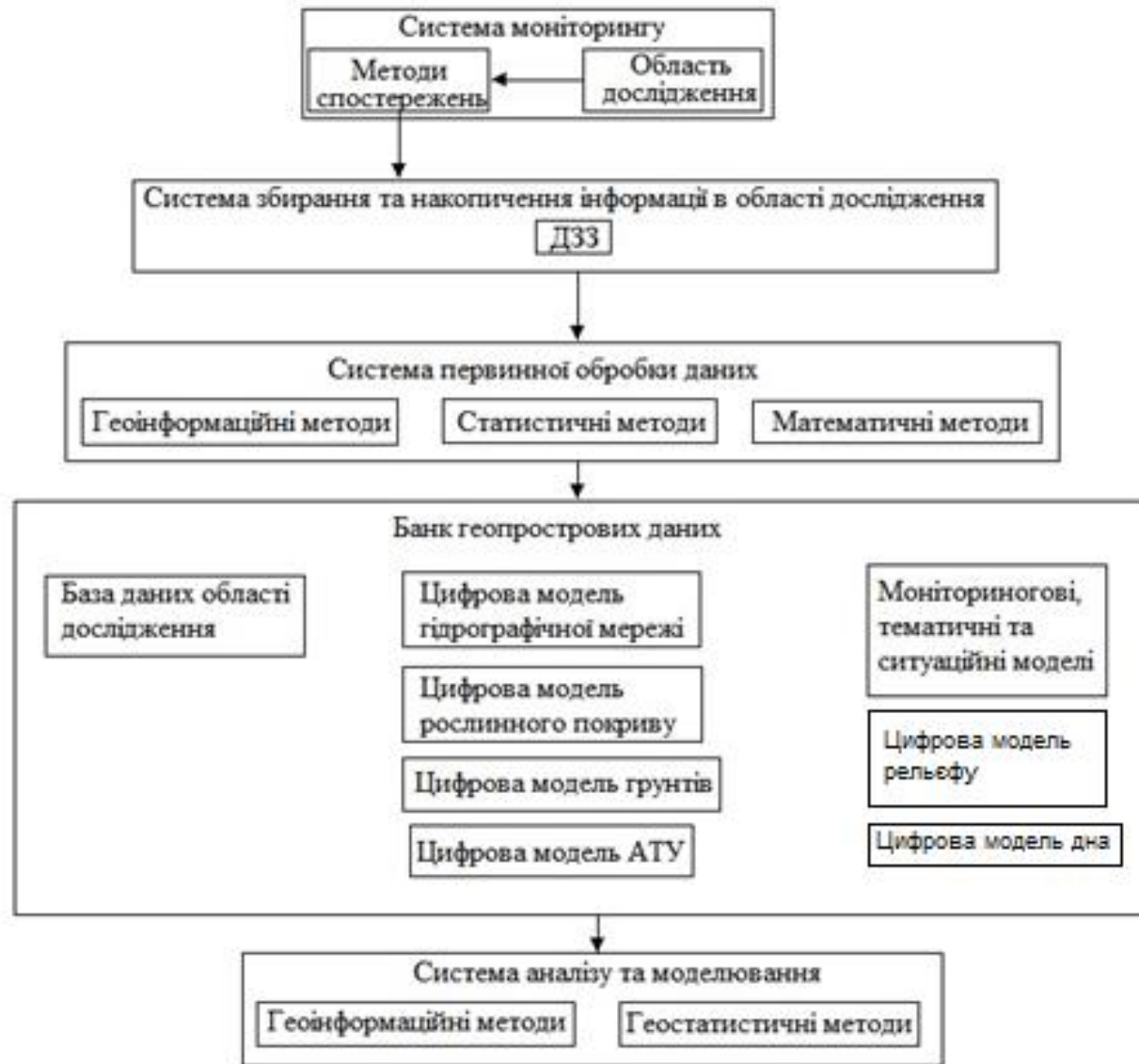
Алгоритми GEE здатні працювати з **великим обсягом даних**, використовуючи одразу масив зображень у якості вихідних даних для проведення керованої класифікації і валідації. Що дозволяє значно підвищити точність визначення контурів та зменшити хибність інтерпретації.



Методика здійснення моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС у межах водосховища

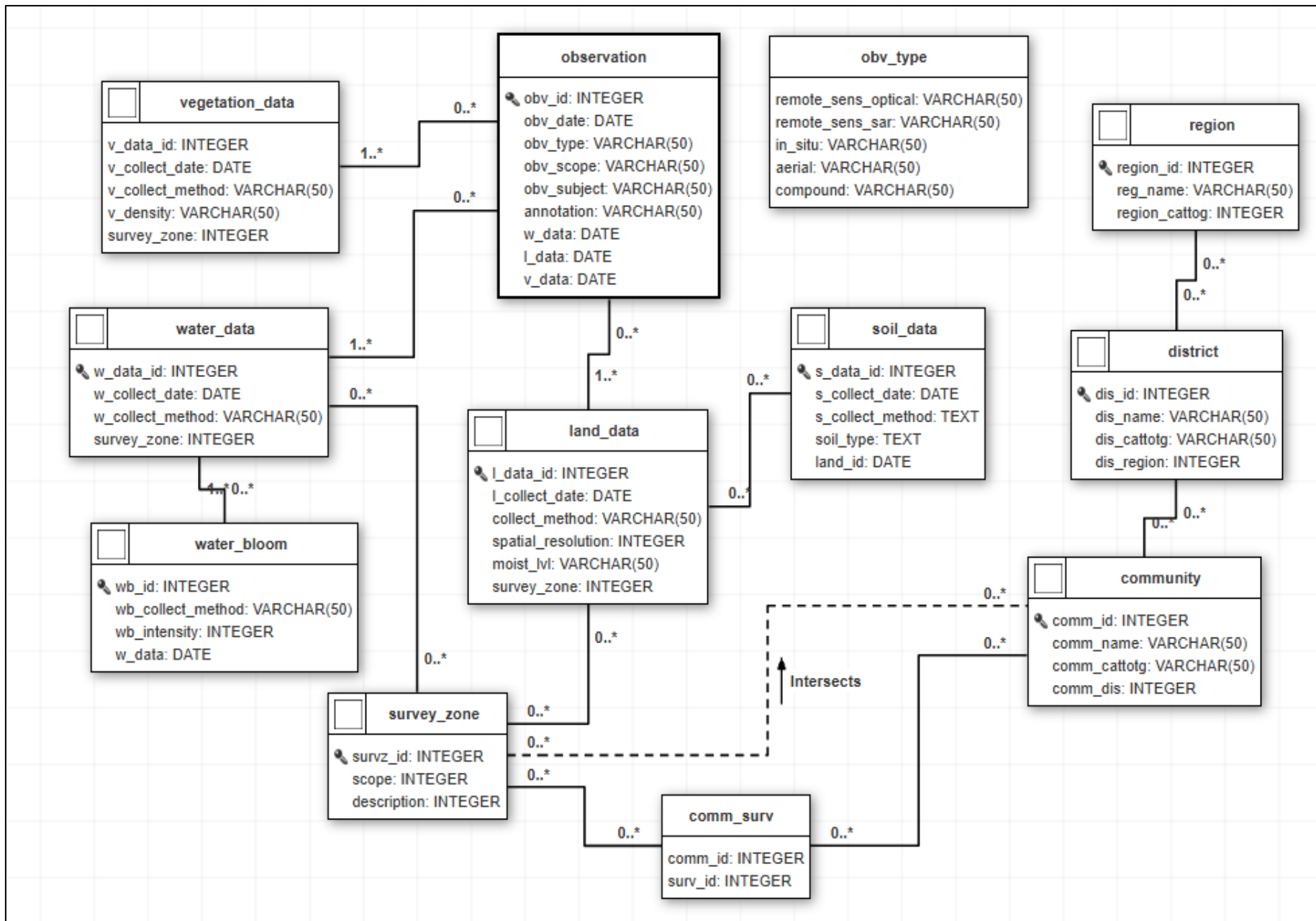
- 1. Збір вихідних даних:**
 - Матеріали космічного знімання місій Sentinel-1/2, Landsat-8 з простровим охопленням території
 - Гідрографічні матеріали Держгідрографії
- 2. Опрацювання вихідних даних:**
 1. Інтерпретація даних космічних знімків із застосуванням спектральних індексів.
 2. Тематична класифікація результатів інтерпретації.
 3. Векторизація тематичного растру
- 3. Розроблення бази геопросторових даних набору геопросторових даних моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС**
- 4. Приведення векторизованих даних до структури, передбаченої логічною моделлю та наповнення БГД.**
- 5. Формування тематичних карт та графіків.**

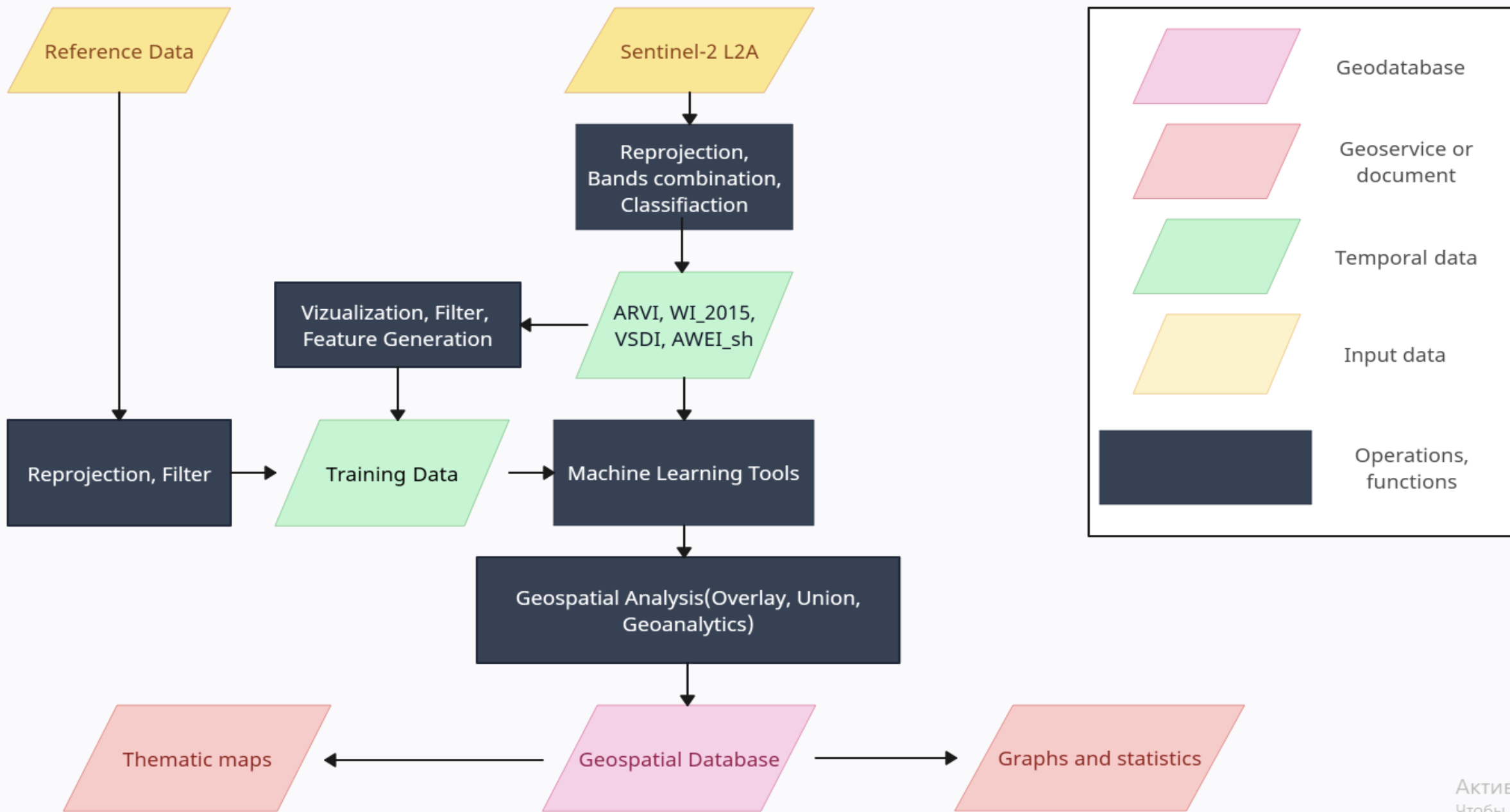




Концептуальна модель ГІС моніторингу наслідків підриву Каховської ГЕС

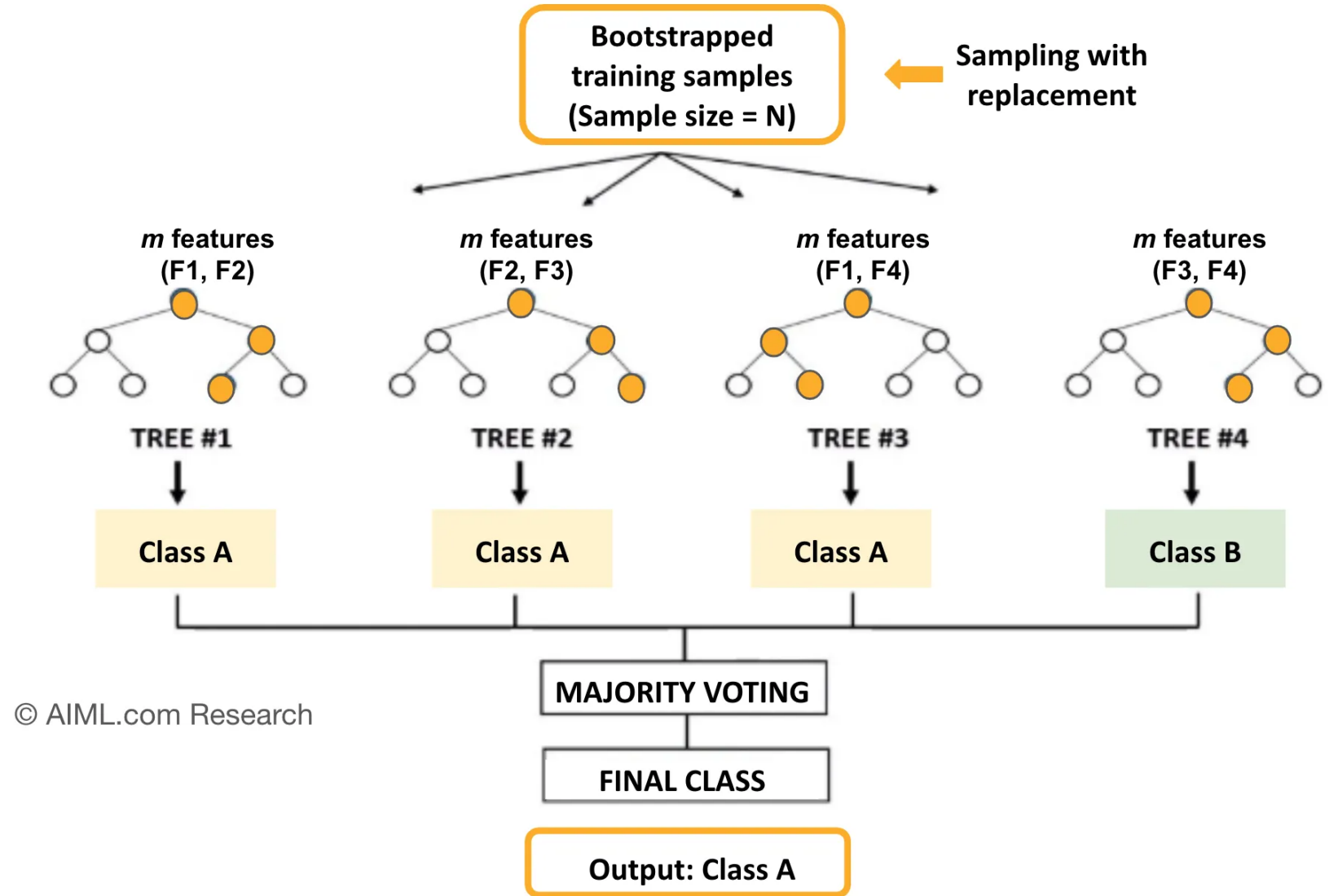
Концептуальна модель даних



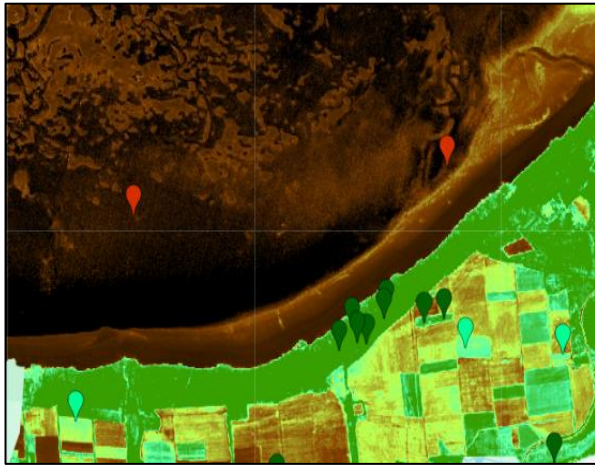


Random Forest Classifier

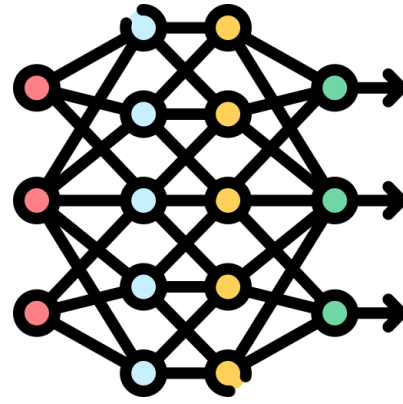
Training Data (Sample size, $N=6$, No. of features, $F=4$)				
F1	F2	F3	F4	Y
2.1	0	400	-9	A
3.0	1	890	-42	B
2.2	1	929	0	B
4.0	0	324	-23	A
3.5	1	333	-15	A
6.0	0	215	-9	A



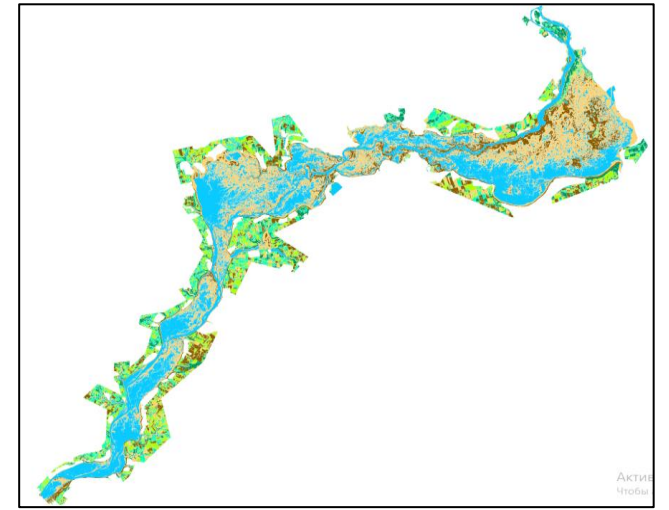
Key parameters of Random Forest Model are: (a) Number of trees , (b) Maximum depth of the trees (c) Size of the random subset of features
In this example, No. of trees = 4, Depth = 2, and Feature subset size, $m = 2$ (no. of features/2)



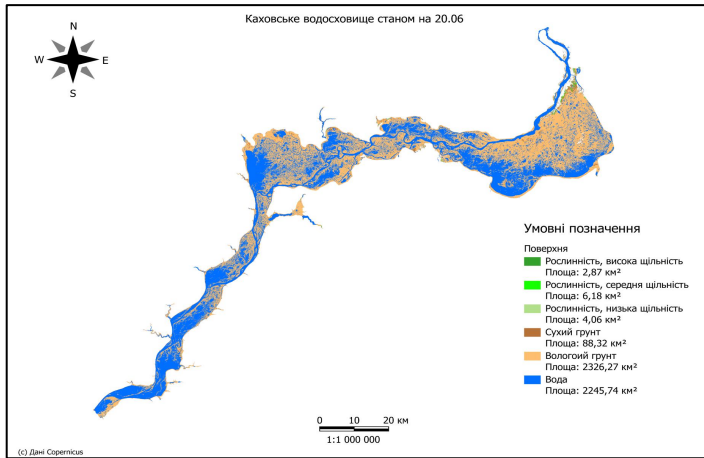
Створення тренувальних зразків



Тренування класифікатора



Тематичний растр



Створення тематичних карт

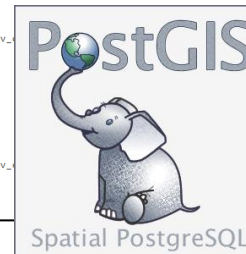
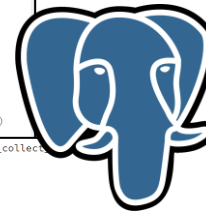
```

INSERT INTO input_data.vegetation_input_data (v_observation, v_collect_date, v_density, geom)
SELECT w.gid AS v_observation,
CASE WHEN w.geom IS NOT NULL THEN '2023-06-20'::date ELSE NULL END AS v_collect_date,
'high' AS v_density,
ST_Multi(ST_Intersection(w.geom, m.geom))
FROM input_data.thematic_0620_2_3857 w
JOIN monitoring_area m ON m.id = 1
WHERE w.value = 1 AND ST_Intersects(w.geom, m.geom);

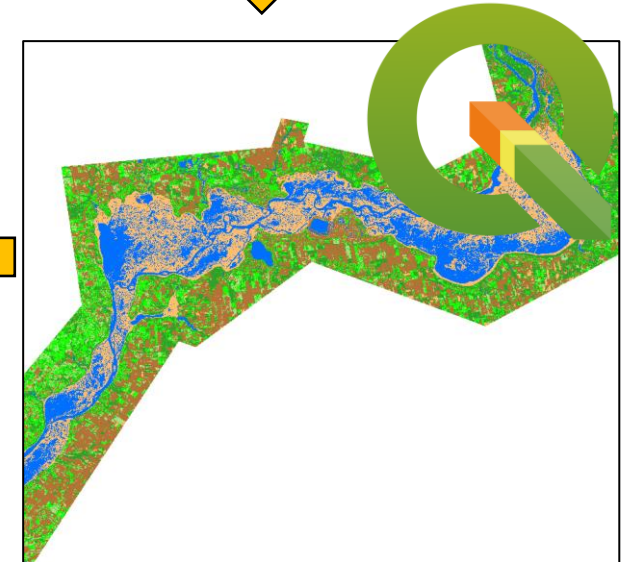
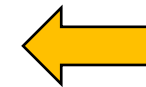
INSERT INTO input_data.vegetation_input_data (v_observation, v_collect_date, v_density, geom)
SELECT w.gid AS v_observation,
CASE WHEN w.geom IS NOT NULL THEN '2023-06-20'::date ELSE NULL END AS v_collect_date,
'high' AS v_density,
ST_Multi(ST_Intersection(w.geom, m.geom))
FROM input_data.thematic_0620_2_3857 w
JOIN monitoring_area m ON m.id = 2
WHERE w.value = 2 AND ST_Intersects(w.geom, m.geom);

INSERT INTO input_data.vegetation_input_data (v_observation, v_collect_date, v_density, geom)
SELECT w.gid AS v_observation,
CASE WHEN w.geom IS NOT NULL THEN '2023-06-20'::date ELSE NULL END AS v_collect_date,
'low' AS v_density,
ST_Multi(ST_Intersection(w.geom, m.geom))
FROM input_data.thematic_0620_2_3857 w
JOIN monitoring_area m ON m.id = 3
WHERE w.value = 3 AND ST_Intersects(w.geom, m.geom);

```

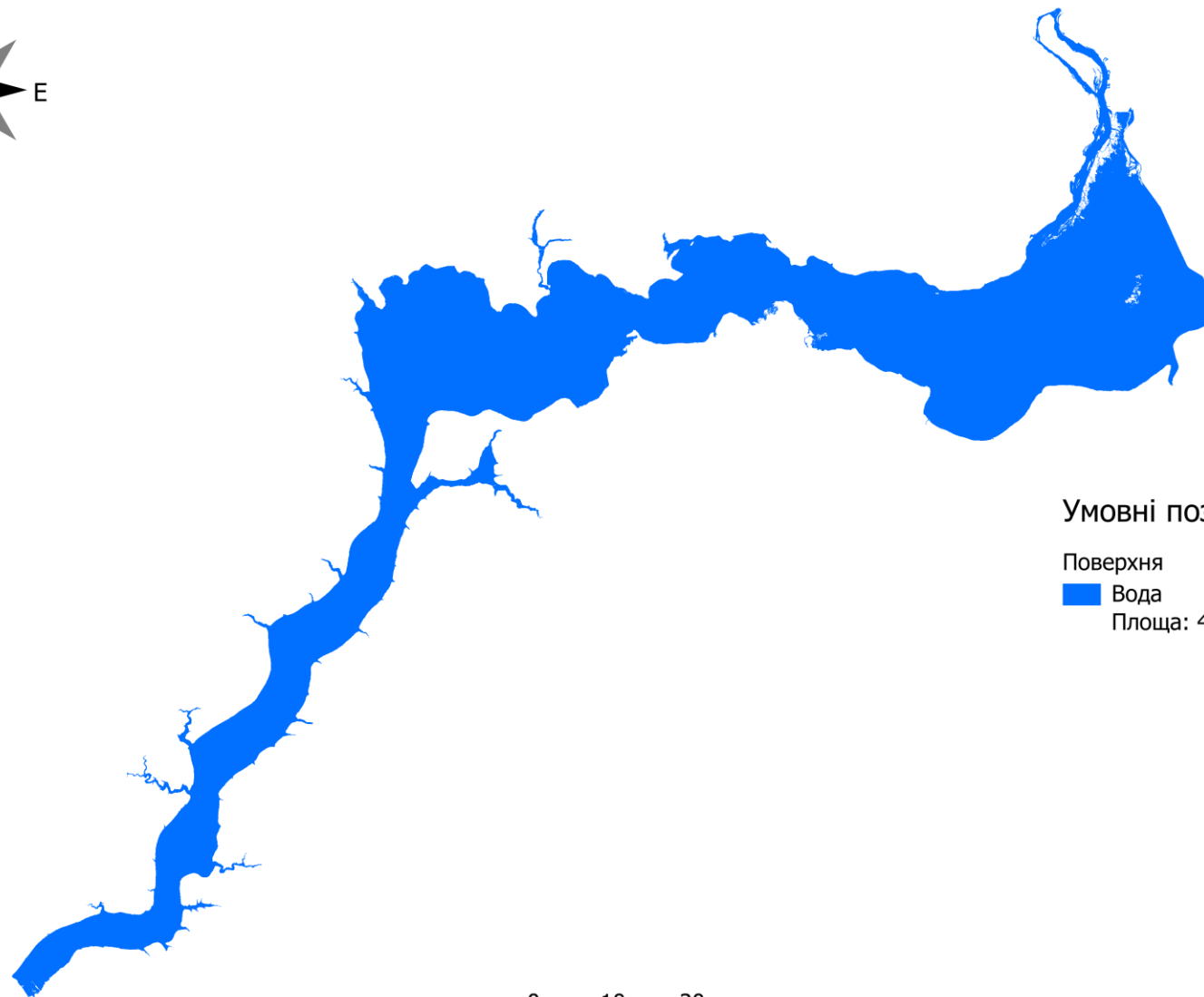


Впорядкування даних



Векторизація тематичного растру

Каховське водосховище станом на 05.06

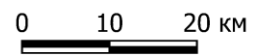


Умовні позначення

Поверхня

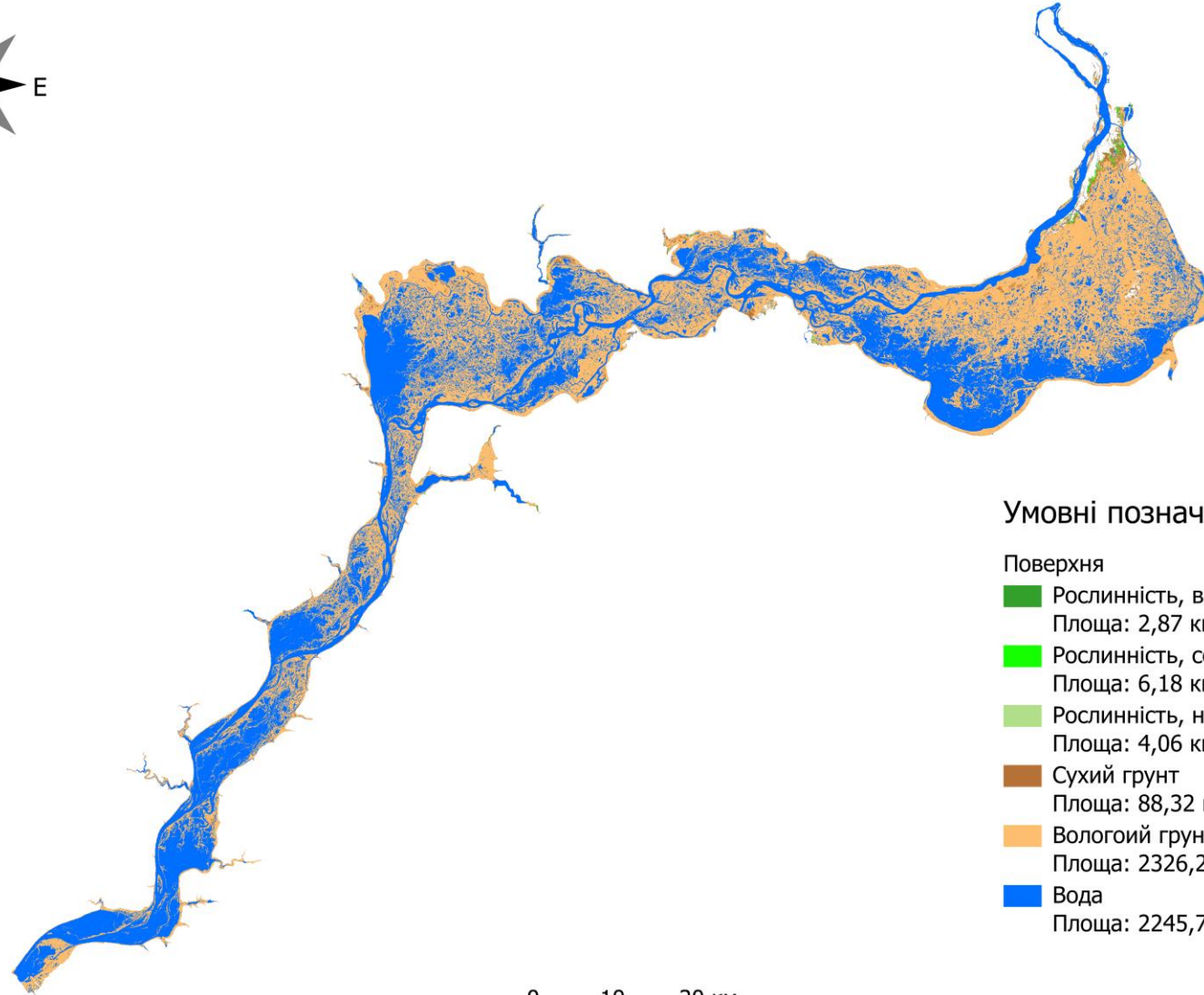
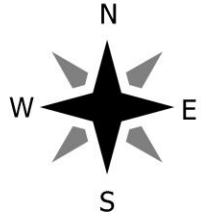
■ Вода

Площа: 4688,13 км²



1:1 000 000

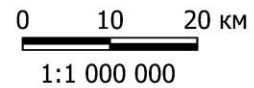
Каховське водосховище станом на 20.06



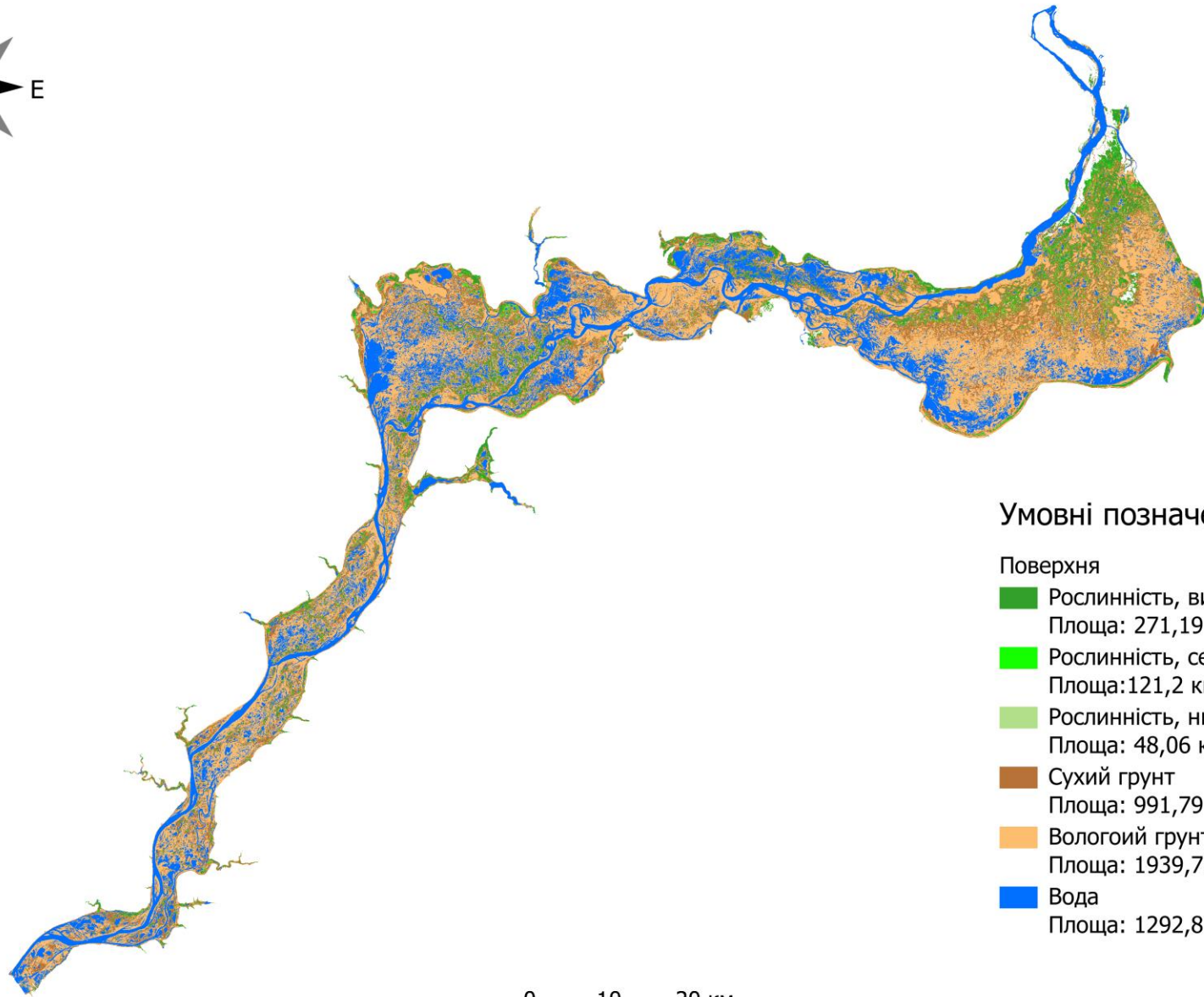
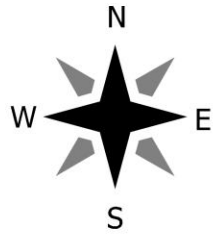
Умовні позначення

Поверхня

- Рослинність, висока щільність
Площа: 2,87 км²
- Рослинність, середня щільність
Площа: 6,18 км²
- Рослинність, низька щільність
Площа: 4,06 км²
- Сухий ґрунт
Площа: 88,32 км²
- Вологий ґрунт
Площа: 2326,27 км²
- Вода
Площа: 2245,74 км²



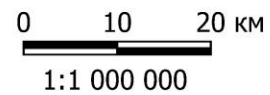
Каховське водосховище станом на 19.08



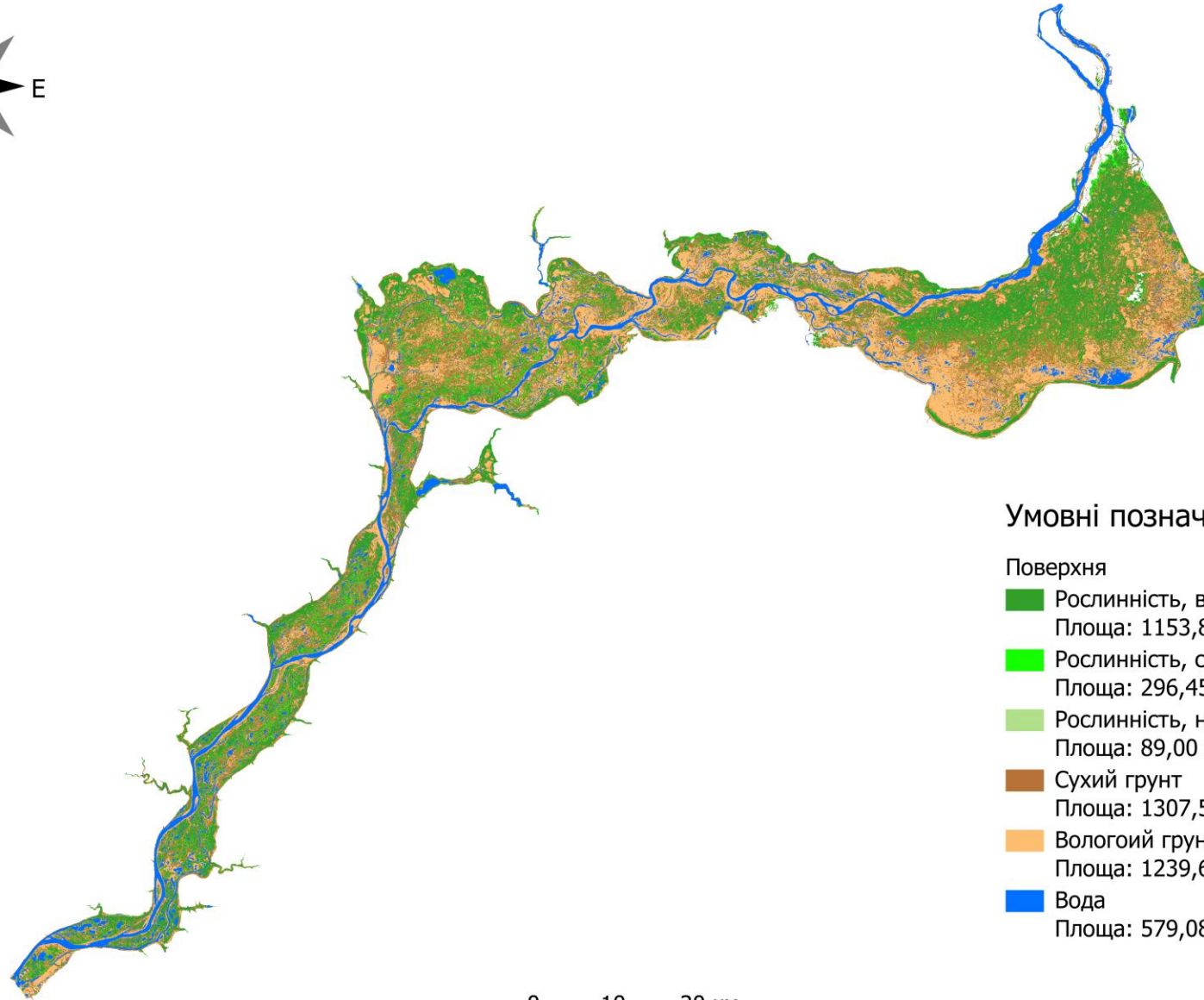
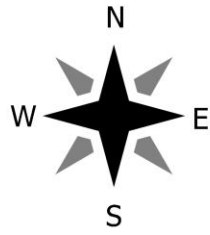
Умовні позначення

Поверхня

-  Рослинність, висока щільність
Площа: 271,19 км²
-  Рослинність, середня щільність
Площа: 121,2 км²
-  Рослинність, низька щільність
Площа: 48,06 км²
-  Сухий ґрунт
Площа: 991,79 км²
-  Вологоий ґрунт
Площа: 1939,75 км²
-  Вода
Площа: 1292,81 км²



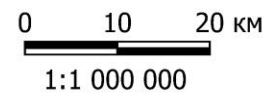
Каховське водосховище станом на 28.09



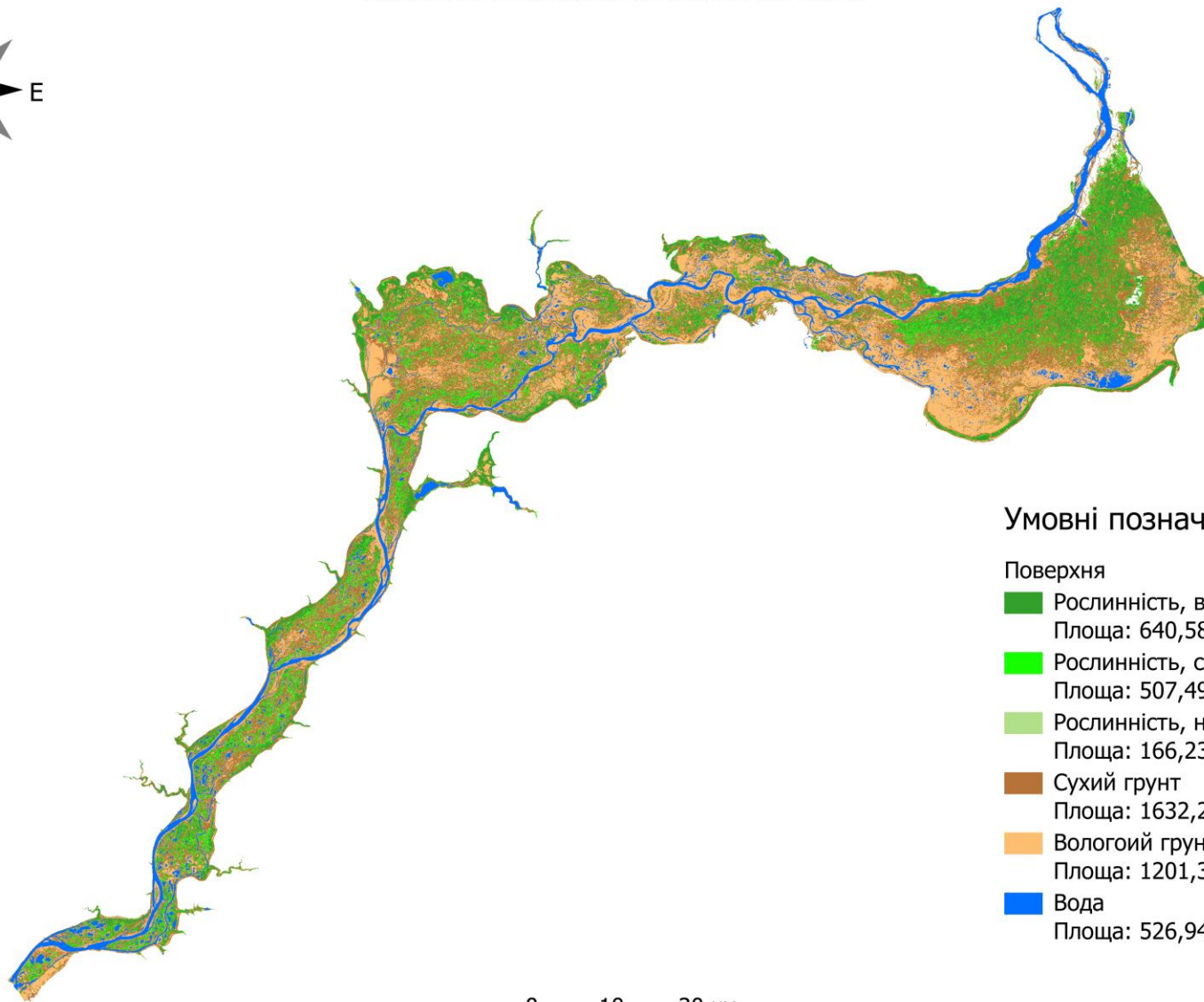
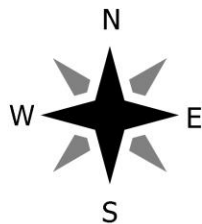
Умовні позначення

Поверхня

-  Рослинність, висока щільність
Площа: 1153,86 км²
-  Рослинність, середня щільність
Площа: 296,45 км²
-  Рослинність, низька щільність
Площа: 89,00 км²
-  Сухий ґрунт
Площа: 1307,57 км²
-  Вологий ґрунт
Площа: 1239,65 км²
-  Вода
Площа: 579,08 км²



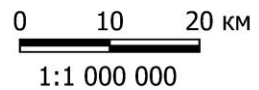
Каховське водосховище станом на 03.10



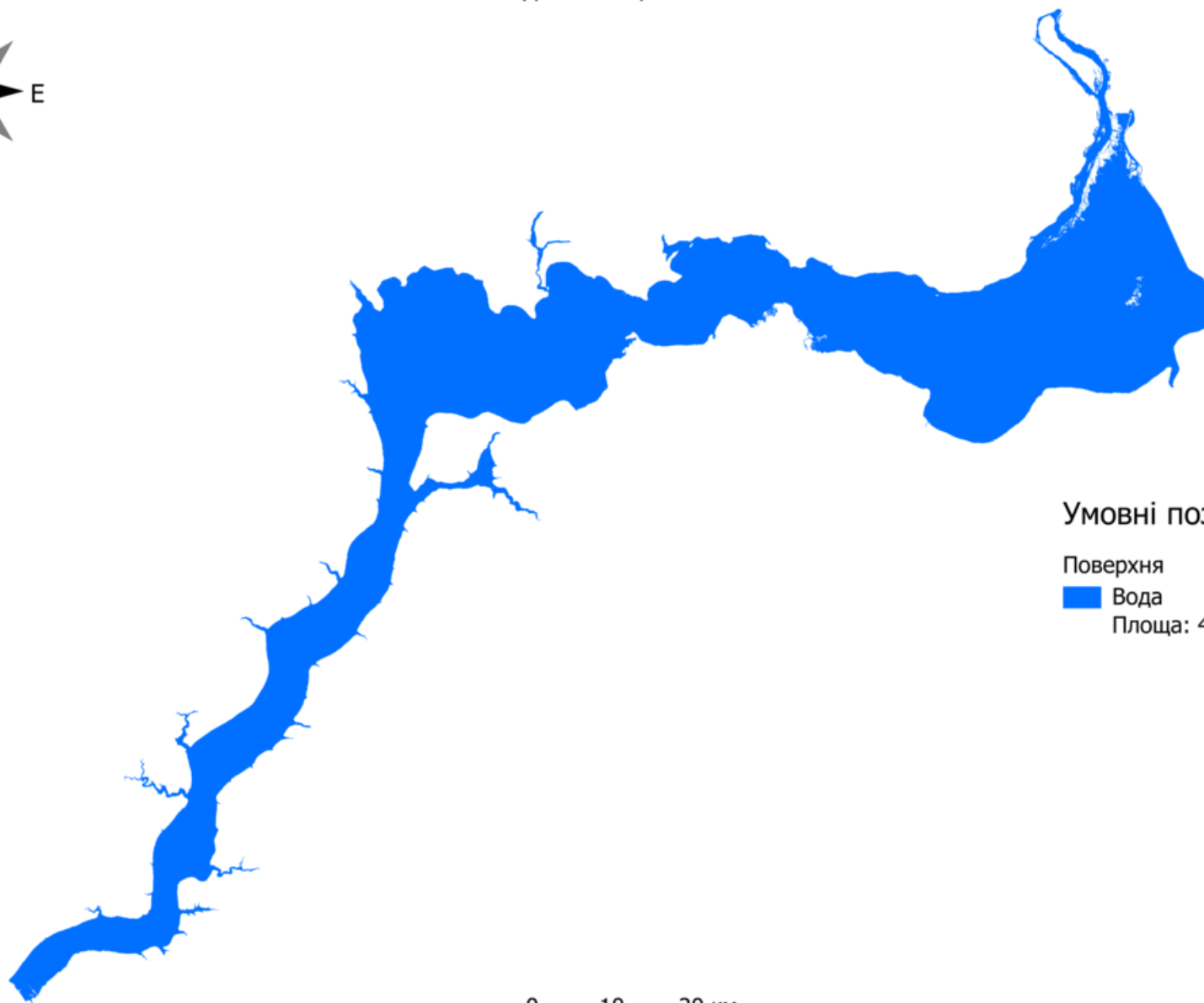
Умовні позначення

Поверхня

- Рослинність, висока щільність
Площа: 640,58 км²
- Рослинність, середня щільність
Площа: 507,49 км²
- Рослинність, низька щільність
Площа: 166,23 км²
- Сухий ґрунт
Площа: 1632,29 км²
- Вологий ґрунт
Площа: 1201,34 км²
- Вода
Площа: 526,94 км²



Каховське водосховище станом на 05.06

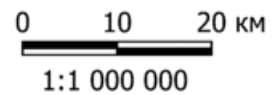


Умовні позначення

Поверхня

■ Вода

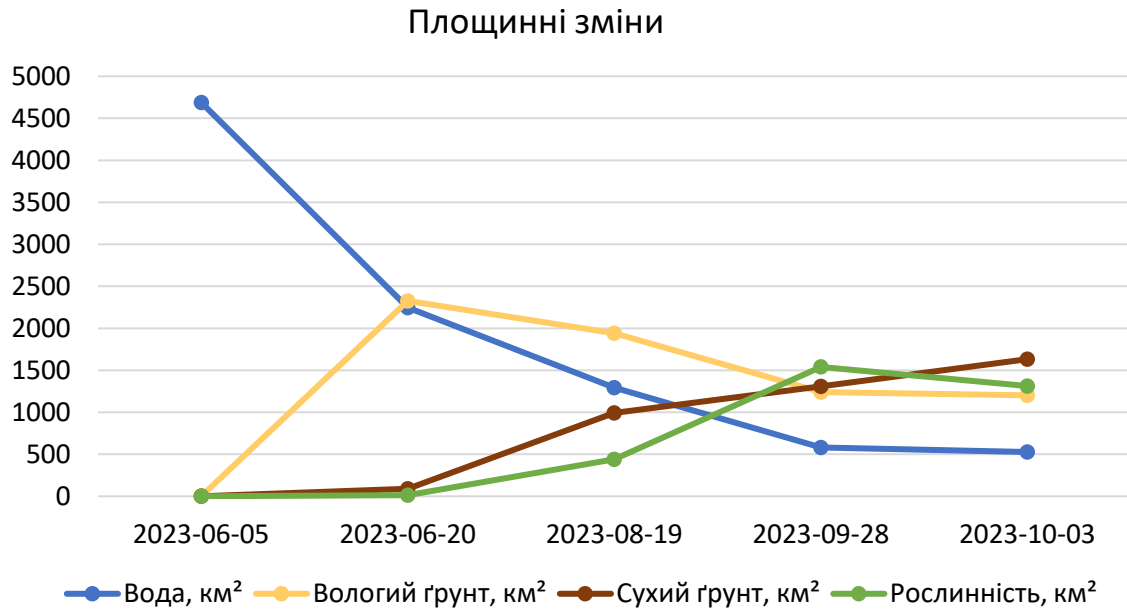
Площа: 4688,13 км²



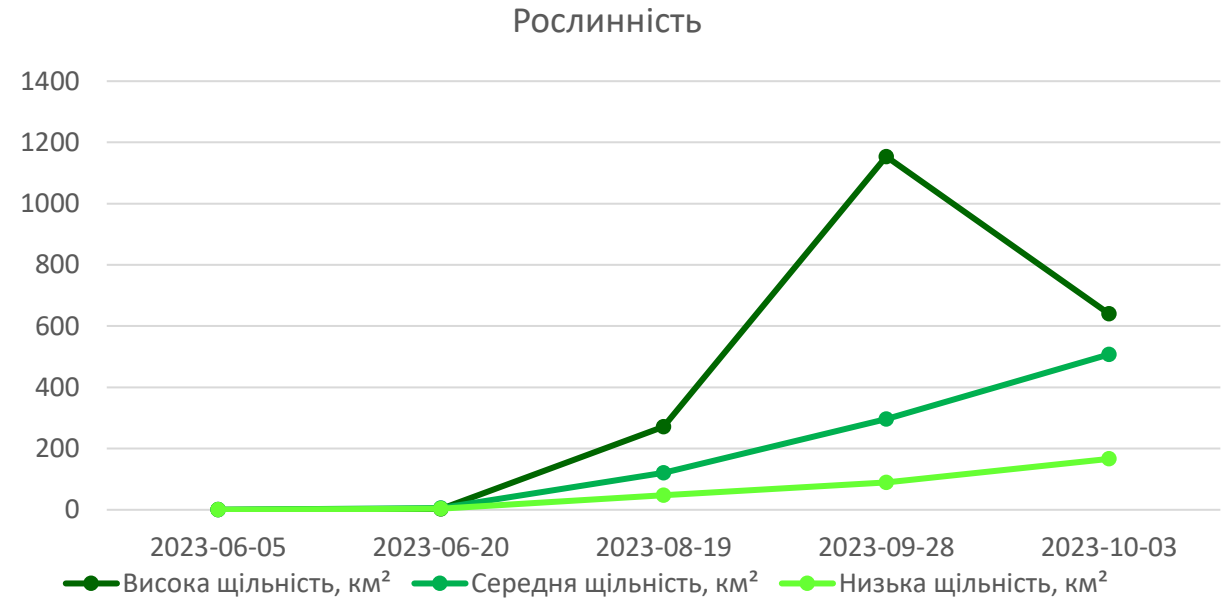
Фрагмент коду SQL що забезпечує аналіз у БГД

Опис	SQL код
Статистика значень площ води, землі та рослинності по датам	<pre>CREATE VIEW reservoir.spatial_stats AS SELECT obs.obv_date, COALESCE(water_area.total_water_area_km2, 0)::double precision) AS total_water_area_km2, COALESCE(moist_land_area.moist_land_km2, 0)::double precision) AS moist_land_km2, COALESCE(dry_land_area.dry_land_km2, 0)::double precision) AS dry_land_km2, COALESCE(vegetation_area.total_vegetation_area_km2, 0)::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.observation obs LEFT JOIN (SELECT w_data_id, SUM(st_area(geom) / 1000000)::double precision) AS total_water_area_km2 FROM reservoir.water_data GROUP BY w_data_id) water_area ON obs.w_data = water_area.w_data_id LEFT JOIN (SELECT l_data_id, SUM(CASE WHEN moist_lvl = 'moist' THEN st_area(geom) / 1000000)::double precision ELSE 0)::double precision END) AS moist_land_km2 FROM reservoir.land_data GROUP BY l_data_id) moist_land_area ON obs.l_data = moist_land_area.l_data_id LEFT JOIN (SELECT l_data_id, SUM(CASE WHEN moist_lvl = 'dry' THEN st_area(geom) / 1000000)::double precision ELSE 0)::double precision END) AS dry_land_km2 FROM reservoir.land_data GROUP BY l_data_id) dry_land_area ON obs.l_data = dry_land_area.l_data_id LEFT JOIN (SELECT v_data_id, SUM(st_area(geom) / 1000000)::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.vegetation_data GROUP BY v_data_id)vegetation_area ON obs.v_data = vegetation_area.v_data_id ORDER BY obs.obv_date;</pre>

Графік площинних змін, води, вологого та сухого ґрунту, і рослинності



Графік площинних змін рослинності з урахуванням щільності



Приблизна статистика деяких з об'єктів водосховища

Висновки

Поєднання технологій дистанційного зондування, баз геопросторових даних та інструментальних ГІС дозволяє здійснювати моніторинг природних компонентів, пов'язаних із процесом осушення великих гідрографічних об'єктів.

Підхід до зберігання та аналізу даних на основі баз геопросторових даних із застосуванням віртуальних таблиць, сформованих на основі запитів до фізичної моделі, дозволить здійснювати безперервний моніторинг шляхом простого додавання нових даних за певний період часу.

Google Earth Engine має потужні обчислювальні можливості. Здатна вирішити найбільш важливі проблеми, пов'язані з картографуванням земельного покриття великих територій. Здатна опрацьовувати великі масиви вихідних даних а також надає користувачеві набагато більше контролю за процесами оброблення даних шляхом написання власних алгоритмів на JavaScript та Python API.

Підхід до зберігання та аналізу даних на основі баз геопросторових даних із застосуванням віртуальних таблиць, сформованих на основі запитів до фізичної моделі, дозволить здійснювати безперервний моніторинг шляхом простого додавання нових даних за певний період часу.

Станом на 20.06.2023, через 14 днів після підриву можна спостерігати осушення значної частини дна водосховища. Також можна спостерігати сильну фрагментацію водних мас на окремі маленькі ставки.

Станом на 19.08.2023 можна спостерігати осушення більшої частини дна, формування стійкого русла, та появу великої кількості рослинності.

На 28.09.2023 можна спостерігати продовження тенденцій.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!