

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан факультету

\_\_\_\_\_доцент., к.т.н. Нестерненко

О. В.

\_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Родченко Олексій Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.

затверджена наказом ректора КНУБА № 1793/2 від «31» травня 2024року

**2. Керівник роботи** Кінь Данило Олексійович, PhD

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**3. Строк подання студентом роботи до захисту:** 2024 р.

**4. Зміст пояснювальної записки за розділами:**

Р. 1. Аналіз нормативного забезпечення та останніх досліджень щодо моніторингу водних ресурсів.

Р. 2. Розроблення системи геоінформаційного моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області.

Р. 3. Дослідна реалізація геоінформаційного моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр..

## **5.Графічний матеріал за розділами**

Р. 1. Схеми основних принципів одних ресурсів, штучних і природних об'єктів навколишнього середовища методами ДЗЗ. Тематичні графічні матеріали реалізованих проектів, що стосуються предметів дослідження.

Р. 2. Схема класів об'єктів предметної сфери згідно зі стандартами директиви Inspire. Схеми методів використання ДЗЗ для отримання і обробки даних пов'язаних із предметною сферою. UML – діаграма пакетів структури бази геопросторових даних моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр. Схеми концептуальної та функціональної моделі ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.

Р. 3. Схема фізичної моделі БГД в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS. Космічні знімки на область інтересу. Тематичний класифікований растр.

Р. 4. Тематичні карти, що візуалізують аналіз стану зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.

## **6. Календарний план виконання роботи:**

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )
Вступ Розділ 1. Аналіз нормативного забезпечення та останніх досліджень щодо моніторингу водних ресурсів.	

<p>1.1 Моніторинг водних ресурсів, штучних і природних об'єктів навколишнього середовища методами ДЗЗ.</p> <p>1.2 Нормативно-правове забезпечення, класифікація об'єктів дослідження</p> <p>1.3 Реалізовані проекти стосовно предмету дослідження.</p> <p>1.4 Аналіз та вибір джерел вихідних даних за вичерпною інформацією для забезпечення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр</p>	
<p>Розділ 2. Розроблення системи геоінформаційного моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області.</p> <p>2.1. Обґрунтування обраних методів дослідження та програмного забезпечення.</p> <p>2.2. Концептуальна та функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.</p> <p>2.3. Створення бази геопросторових даних тематичного набору даних про зрошувальну систему каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.</p>	
<p>Розділ 3. Дослідна реалізація геоінформаційного моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.</p> <p>3.1. Реалізація фізичної моделі БГД у середовищі PostgreSQL/PostGIS</p> <p>3.2. Попереднє оброблення даних дистанційного зондування Землі.</p> <p>3.3. Класифікація зображень, застосування індексів отримання растрових класифікованих тематичних шарів.</p> <p>3.4. Оцінка стану та виявлення змін зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.</p> <p>3.5. Геопросторовий аналіз та візуалізація отриманих даних в результаті дослідження.</p>	
<p>Остаточне оформлення роботи</p>	
<p>Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат</p>	
<p>Попередній захист роботи на кафедрі</p>	

## 7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Роз діл	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Роз діл 1.			
Роз діл 2.			
Роз діл 3.			

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2024 р.

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Карпінський Ю.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Кінь Д.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент \_\_\_\_\_ Родченко О. А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів  
Херсонської області за 2018-2024 рр.

Родченко Олексій Андрійович

Київ – 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ проф., д.т.н. Карпінський

Ю.О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.

Виконав студент групи ГСТм-23  
193 «Геодезія та землеустрій»  
Геоінформаційні системи  
технології

Родченко О.А.

Керівник: Кінь Д.О. доц. д.т.н

*Ідентичність підтверджую*

Київ 2024 р.

# Зміст

ВСТУП.....	10
1.1 Моніторинг водних ресурсів, штучних і природних об'єктів навколишнього середовища методами ДЗЗ.....	13
1.1.1 Моніторинг водних ресурсів (За [2]).....	16
1.1.2 Індекс якості води на основі коефіцієнта відбиття (За [3]).....	21
1.1.3 Індекс виявлення цвітіння водоростей: ABDI (За [4]).....	23
1.1.4 Індеси оптичного дистанційного зондування вологості ґрунту (За [5]).....	24
1.1.5. Сучасні методи моніторингу забудованих територій (За [6])..	26
1.1.6 Індеси рослинності та процес валідації (За [7]).....	30
1.2 Нормативно-правове забезпечення, класифікація об'єктів дослідження.....	35
1.2.1 Нормативно-правове забезпечення щодо управління водними ресурсами та зрошувальними системами в Україні.....	35
1.2.2 Нормативно-правове забезпечення щодо управління водними ресурсами та зрошувальними системами в ЄС.....	39
1.3 Реалізовані проекти стосовно предмету дослідження.....	43
1.3.1 Моніторинг поверхневих вод з 1984 по 2021 рік за даними Landsat часових знімків та Google Earth Engine (за [2]).....	44
1.3.2 Індекс якості води на основі відбивної здатності та його застосування для вивчення деградації якості річкової води в мегаполісі, що швидко урбанізується.....	50
1.4 Аналіз та вибір джерел вихідних даних за вичерпною інформацією для забезпечення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	56

2.1 Обґрунтування обраних методів дослідження та програмного забезпечення.....	65
2.2 Концептуальна та функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	68
2.2.1 Концептуальна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	70
2.2.2 Функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	75
2.3 Створення бази геопросторових даних тематичного набору даних про зрошувальну систему каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	78
3.1 Реалізація фізичної моделі БГД у середовищі PostgreSQL/PostGIS.	94
3.2 Попереднє оброблення даних дистанційного зондування.....	100
3.3 Класифікація зображень, застосування індексів отримання растрових класифікованих тематичних шарів.....	103
3.4 Оцінка стану та виявлення змін зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.....	112
3.5 Геопросторовий аналіз та візуалізація отриманих даних в результаті дослідження.....	115
Список літератури:.....	125
ДОДАТОК А. ТЕМАТИЧНІ КАРТИ.....	129

## ВСТУП

Сучасні підходи до моніторингу різних процесів та ситуацій, таких як стихійні лиха, військові конфлікти або наслідки антропогенної діяльності, дедалі частіше використовують геоінформаційні технології та дані дистанційного зондування Землі, отримані за допомогою різних супутникових систем, як вхідну інформацію для геоінформаційного моніторингу [1].

Застосування ГІС-технологій для моніторингових завдань обумовлено їхньою здатністю забезпечувати якісну та об'єктивну оцінку стану навколишнього середовища, зокрема руйнувань внаслідок бойових дій, надзвичайних ситуацій, а також проводити всебічний аналіз масштабних наслідків війни [3, 4, 7, 9]. Це є надзвичайно важливим, оскільки комплексна оцінка ускладнена через наявність значної кількості різноманітних наслідків, викликаних бойовими діями, а також відсутністю уніфікованої системи класифікації цих наслідків, та недоступністю багатьох методів польових досліджень у зоні бойових дій.

Моніторинг зрошувальної системи каналів Херсонської області є важливою задачею, оскільки це дає змогу оцінити стан навколишнього середовища через порушення водопостачання, зменшення можливостей зрошення полів, що впливає на стан рослинності та ґрунтів.

Використання ГІС технологій для цього завдання у поєднанні із методами ДЗЗ забезпечує усіма необхідними інструментами, для аналізу інформації, виходячи із принципу актуальності, достовірності і обґрунтованості геопросторових даних, і створення системи моніторингу за довготривалими змінами, що відбулися із зрошувальною системою каналів Херсонської області за 2018-2024 рр., включаючи наслідки підриву Каховської ГЕС.

Метою проекту є розроблення геоінформаційної системи моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області 2018-2024 рр.

Результати моніторингу слугують основою для розробки науково обґрунтованих рекомендацій, подальших поглиблених наукових досліджень, які можуть використовуватися для прийняття управлінських рішень щодо ефективного та збалансованого відновлення територій, оцінки збитків, а також для проведення інвентаризації руйнувань та наслідків екологічної катастрофи.

Вихідними даними роботи є геопросторові дані гідрографічних об'єктів у векторному вигляді у форматі shapefile надані Державною гідрографічною службою, космічні знімки Sentinel-2 та Landsat на територію інтересу.

Алгоритм дослідження:

- 1) Збір даних із відкритих джерел;
- 2) Розробка тематичних класифікаторів і створення БГД
- 3) Первинна обробка у програмному забезпеченні;
- 4) Класифікація і кластеризація;
- 5) Векторизація класифікованих знімків;
- 6) Проведення аналізу, та приведення висновків дослідження.

**РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА  
ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ  
РЕСУРСІВ**

					<b>ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Виконав		Родченко О.А			Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.	Літ.	Арк.	Аркушів
							1	6
Керівник		Кінь				КНУБА, група ГСТм-21		
Зав. каф.		Карпінський Ю. О						

## **1.1 Моніторинг водних ресурсів, штучних і природних об'єктів навколишнього середовища методами ДЗЗ**

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — це спосіб отримання даних про об'єкти, матеріали або природні явища на основі вимірювань, проведених на відстані, без прямого контакту з об'єктом спостереження.

Перший знімок земної поверхні було зроблено за допомогою фотоапарата, встановленого на балістичній ракеті Fau-2, запущеній у 1945 році з американського полігону. До кінця 1950-х років космічне знімання земної поверхні проводилось на висоті до 200 км, використовуючи апаратуру на балістичних ракетах та зондах. Систематичні спостереження Землі з космосу розпочалися 1 квітня 1960 року з запуском американського метеорологічного супутника Tiros-1.

Сучасне дистанційне зондування поділяється на два основні напрями. Перший спрямований на отримання зображень земної поверхні, з акцентом на візуальних аспектах, і застосовує методи аналізу, що базуються на процесі формування зображень. Цей підхід є надійним та економічно ефективним для широкого кола завдань. Другий напрямок орієнтується на кількісне представлення даних, що мають абстрактний вигляд як набір вимірювань. Він особливо розвинувся в 1950-1960-х роках, коли було досягнуто значного прогресу в розробці сенсорів для вимірювання енергії в інфрачервоному спектрі, що дозволило точніше обробляти багатоспектральні дані. У таких системах часто використовують багатоспектральні сканери, що мають ширший динамічний діапазон порівняно з фотографічними системами[1].

Система ДЗЗ включає чотири основні компоненти:

1. носії апаратури (супутники, літаки, дрони);
2. знімальну апаратуру;
3. бортові засоби передачі даних на Землю;

4. наземні комплекси для прийому, обробки, зберігання та передачі інформації споживачам.

Завдяки космічним апаратам, що регулярно знімають поверхню Землі, стало можливим оперативне отримання даних і створення обширних архівів ДЗЗ. Зараз практично вся поверхня суші й води Землі знята з космосу при різних умовах спостереження[1].

Дані ДЗЗ використовуються у сферах:

1. сільського господарства;
2. землекористування;
3. лісового господарства;
4. моніторингу водних ресурсів;
5. дослідження прибережних зон і океанів;
6. кліматології;
7. метеорології;
8. геодезії;
9. картографії;
10. містобудування;
11. пошуку корисних копалин;
12. контролю надзвичайних ситуацій.

Сучасні супутники мають просторову роздільну здатність менше одного метра. Наприклад, супутник GeoEye-1, запущений 6 вересня 2008 року, забезпечує панхроматичну зйомку з роздільною здатністю 41 см і мультиспектральну — з роздільною здатністю 1,65 см.

Дані ДЗЗ також доступні безкоштовно через Інтернет з метеорологічних систем, таких як METEOSAT, GOES, GMS, які мають низьку роздільну здатність. Зокрема, сенсори AVHRR на супутниках NOAA здобули популярність серед користувачів.

Знімки можна отримувати як із супутників, так і з літальних апаратів. Хоча аерознімання є менш масштабним, воно залишається найбільш

оперативним способом отримання високороздільних даних для локальних територій і часто є економічно вигідним для дуже високих роздільних здатностей.

Системи ДЗЗ тісно пов'язані із супутниковими системами зв'язку, оскільки використовують подібну технологію передачі інформації, а в деяких випадках також використовують супутники зв'язку для передачі даних на наземні станції.

Для дистанційного зондування Землі застосовуються чотири діапазони електромагнітного випромінювання: ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний та радіодіапазон. У таблиці 1.0 зазначені частоти піддіапазонів.

Частина електромагнітного спектра з довжиною хвилі ( $\lambda=0,38-3$  мкм) називається відбивною областю спектру. Енергія, що вимірюється в цій області, складається переважно з сонячного випромінювання та відбитого від різних об'єктів на земній поверхні.

У проміжному інфрачервоному діапазоні ( $\lambda=0,38-3$  мкм) дистанційне зондування майже не застосовується через значний вплив атмосферних явищ.

Інфрачервоний діапазон з довжиною хвилі ( $\lambda=7-14$  мкм) відомий як "тепловий", оскільки основну частину вимірюваного випромінювання утворює власне теплове випромінювання об'єктів на поверхні Землі. Варто зазначити, що сонячне випромінювання також присутнє в цьому піддіапазоні, проте воно значно менше за власне випромінювання об'єктів[1].

Таблиця 1.0 [1]

Частотні діапазони, які використовуються для дистанційного зондування[1]

Назва діапазону	Довжина хвилі	Частота
-----------------	---------------	---------

Ультрафіолетовий		100А – 400 мкм	750 – 3000 ТГц
Видимий		400 нм – 760 нм	430 – 750 ТГц
Інфрачервоний	Ближній	760 нм – 1,3 мкм	230 – 430 ТГц
	Середній	1,3 мкм – 3,5 мкм	100 – 230 ТГц
	Проміжний	3,5 мкм – 7 мкм	38 – 100 ТГц
	Тепловий	7 мкм – 14 мкм	22 – 38 ТГц
	Дальній	14 мкм – 0,1 мм	3 – 22 ТГц
Субміліметровий		0,1 мм – 1 мм	0,3 – 3 ТГц
Радіо	Міліметровий	1 мм – 10 мм	30 – 300 ГГц
	Сантиметровий	1 см – 10 см	3 – 30 ГГц
	Дециметровий	0,1 м – 1 м	0,3 – 3 ГГц
	УКХ	1 м – 10 м	0,03 – 0,3 ГГц

### *1.1.1 Моніторинг водних ресурсів (За [2])*

Поверхневі води є ключовим елементом водних ресурсів, що включають річки, озера та водосховища, які відіграють важливу роль у екологічних системах, соціально-економічному житті та сталому розвитку регіонів. За останні десятиліття через сукупний вплив кліматичних факторів та діяльності людини спостерігається постійне зменшення кількості доступних поверхневих вод та їхнє забруднення, що стало однією з найактуальніших проблем для людства, для України також актуальні наслідки бойових дій на території держави, що спричиняють екологічну катастрофу. Зміна площі та розподілу поверхневих водних об'єктів значно коливається залежно від року та пори року. Тому регулярний моніторинг просторового розподілу поверхневих вод, точне вивчення їх динаміки та швидке оцінювання регіонального водного балансу є надзвичайно важливими. Це дозволяє оцінити вплив як природних чинників, так і людської діяльності на водні ресурси, сприяє дослідженням у галузі управління водними ресурсами, моніторингу повеней і посух, оцінці природних катастроф, підтримці сільськогосподарського виробництва, комплексному

управлінню басейнами річок, а також сталому використанню і захисту водних ресурсів.

З розвитком геоінформаційних технологій дистанційне зондування стало важливим інструментом для отримання даних про земну поверхню. Завдяки відмінним спектральним характеристикам водних об'єктів і їхньому просторовому розподілу, що відрізняється високою однорідністю та безперервністю, методи дистанційного зондування можуть використовуватись для отримання інформації про великі водні об'єкти. У порівнянні з традиційними методами польових досліджень, супутникове дистанційне зондування відрізняється швидкістю і зручністю, особливо при проведенні масштабних та тривалих досліджень часових рядів. Google Earth Engine (GEE) – це онлайн-платформа на базі хмарних технологій, що надає доступ до великого набору геопросторових даних для обробки та аналізу зображень. Завдяки своїй простоті та ефективності, GEE широко використовується для аналізу змін у землекористуванні, дослідження урбанізації, картографування водно-болотних угідь, класифікації сільськогосподарських культур та аналізу водних ресурсів.

Точне вимірювання площі водних об'єктів є ключовим елементом географічного обліку, а також необхідною основою для дослідження гідрологічних процесів, екологічних систем, сільського господарства, збереження біорізноманіття та розвитку природних ресурсів. Основний принцип виділення водних об'єктів на супутникових зображеннях полягає в посиленні спектральної яскравості вод і пригніченні яскравості інших елементів, таких як рослинність і ґрунт. Останніми роками вчені активно вивчали методи дистанційного зондування для ідентифікації поверхневих вод та запропонували кілька алгоритмів і моделей для цього завдання. Загалом, методи поділяються на односмугові порогові, багатосмугові водні індекси, об'єктно-орієнтовану класифікацію, машинне навчання та глибоке навчання. Односмуговий пороговий підхід, що часто використовує ближній і середній

інфрачервоний діапазони, простий у використанні, але має обмежену точність для малих або забруднених водних об'єктів на складному фоні. На відміну від цього, багатосмугові спектральні індекси, такі як нормалізований різницевий водний індекс (NDWI), модифікований нормалізований різницевий водний індекс (MNDWI), індекс автоматизованого вилучення води (AWEI), водний індекс 2015 року (WI2015) та багатосмуговий водний індекс (MBWI), будують математичні моделі для відокремлення водних об'єктів і пригнічення неводних. Дослідження показали, що індекси AWEI і WI2015 мають вищу точність. Об'єктно-орієнтована класифікація використовує правила для виділення цілей, зазвичай на основі високороздільних зображень. Машинне навчання включає такі методи, як SVM, випадковий ліс (RF) і деревовидну класифікацію, що вимагає вибору навчальних зразків та створення правил, що може бути трудомістким. Глибоке навчання, що включає DNN, RNN та CNN, швидко розвивається і підходить для виявлення особливостей на великих площах, проте потребує великих наборів даних для досягнення високої точності. Додатково, новий метод WIMFCF, який поєднує водні індекси з алгоритмом модифікованої нечіткої кластеризації (FCM), підвищує точність вилучення вод за допомогою гомогенізації фону та покращення спектральних характеристик водних об'єктів. Хоча порогові методи є найпоширенішими для класифікації водних об'єктів, вони можуть бути чутливими до часових і просторових варіацій, що може ускладнити визначення порогів. Для автоматичного визначення порогів часто застосовується метод Оцу для зображень у відтінках сірого.

Швидке та точне виявлення водних об'єктів є ключовою вимогою для аналізу їх просторового і часового розподілу. Найчастіше використовуються водні індекси, що є математичними моделями, заснованими на співвідношенні між різними спектральними діапазонами. Вони покращують контрастність між водними об'єктами та іншими поверхнями, що дозволяє чіткіше ідентифікувати водойми (рис. 1.0а-с). Нижче наведено кілька загальноприйнятих формул для обчислення водних індексів. Зазначимо, що AWEI поділяється на два типи:

автоматичний індекс виділення води з тіней (AWEI<sub>sh</sub>), що усуває тіньові пікселі, та автоматичний індекс для виділення води в урбанізованих районах (AWEI<sub>nsh</sub>).

$$1) NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} ;$$

$$2) MNDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR1}} ;$$

$$3) MBWI = 2 \times \rho_{Green} - \rho_{Red} - \rho_{NIR} - \rho_{SWIR} ;$$

$$4) AWEI_{nsh} = 4 \times (\rho_{Green} - \rho_{SWIR1}) - (0.25 \times \rho_{NIR} + 2.75 \times \rho_{SWIR2}) ;$$

$$5) AWEI_{sh} = \rho_{Blue} + 2.5 \times \rho_{Green} - 1.5 \times \rho_{NIR} + \rho_{SWIR1} - 0.25 \times \rho_{SWIR2} ;$$

$$6) WI_{2015} = 1.7204 + 171 \times \rho_{Green} + 3 \times \rho_{Red} - 70 \times \rho_{NIR} - 45 \rho_{SWIR1} - 71 \times \rho_{SWIR2} .$$

Коефіцієнти  $\rho_{Blue}$ ,  $\rho_{Green}$ ,  $\rho_{Red}$ ,  $\rho_{NIR}$ ,  $\rho_{SWIR1}$ ,  $\rho_{SWIR2}$  відповідають коефіцієнтам відбиття поверхні Landsat у синьому, зеленому, червоному, ближньому інфрачервоному та двох короткохвильових інфрачервоних діапазонах відповідно. На рис. 1.1 а-f представлені результати обчислення різних водних індексів, які демонструють, що зазначені індекси ефективно виділяють більшість інформації про водойми з відносно чіткими межами. Зокрема, ефект підсилення для окремих річок та озер (позначені червоними та жовтими еліпсами) на знімках NDWI, MNDWI та MBWI був слабким, тоді як на знімках AWEI<sub>sh</sub> та WI<sub>2015</sub> був значно виразнішим.

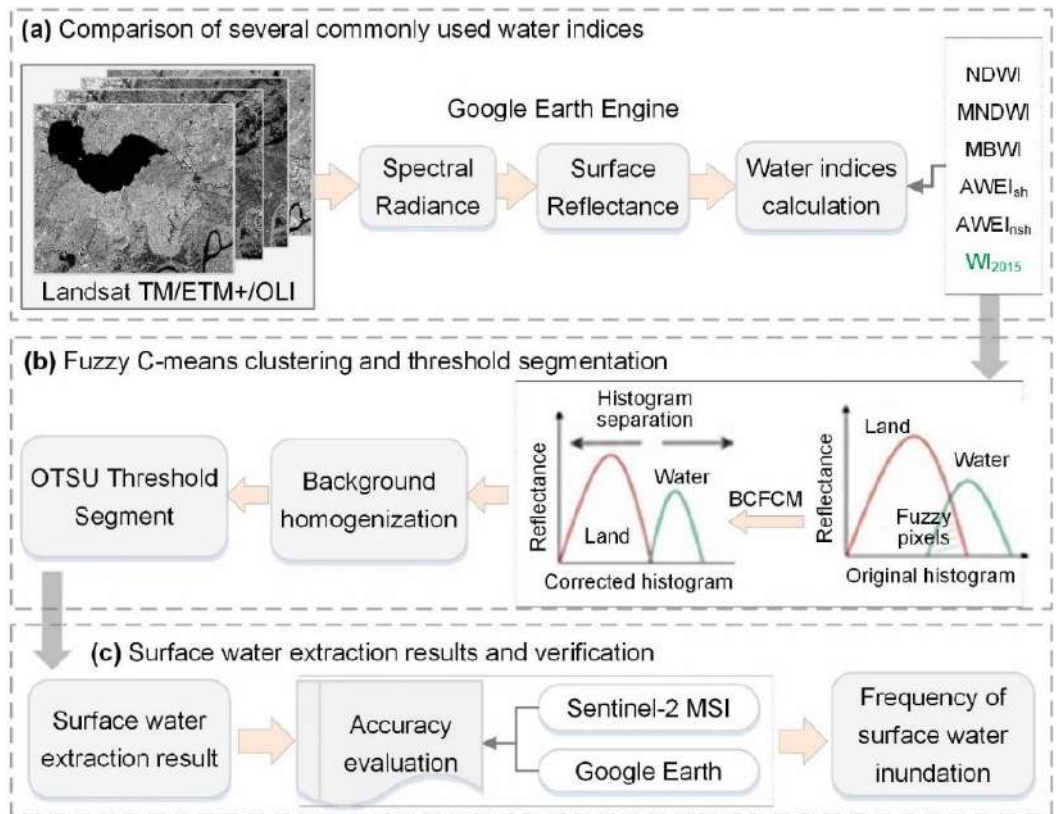


Рис. 1.0 Блок-схема методу екстракції води в цьому дослідженні[2].

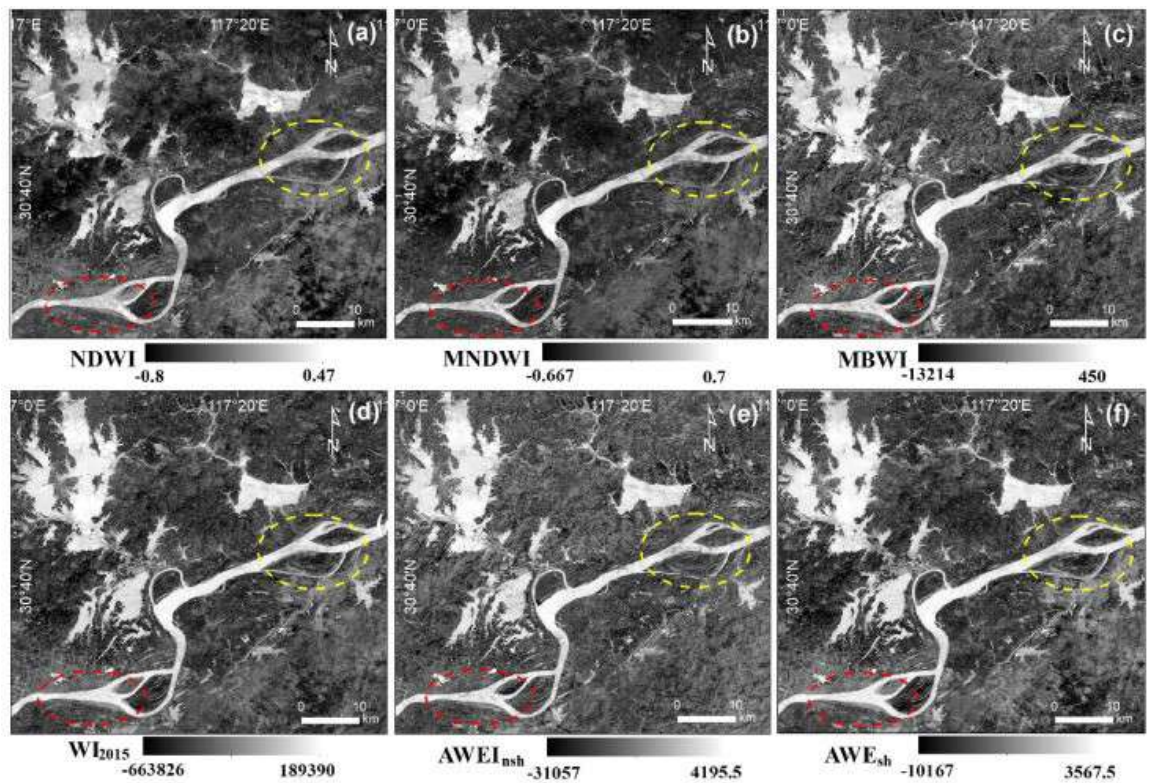


Рис. 1.1 Порівняння кількох загальнозживаних індексів води в басейні річки Янцзи[2].

### 1.1.2 Індекс якості води на основі коефіцієнта відбиття (За [3])

Лабораторні та польові дослідження якості води свідчать, що піки спектрального відбиття води зміщуються до смуги 3, де спостерігається найменше поглинання енергії. Це явище відрізняється від поведінки у смугі 1, особливо у випадках, коли у воді присутні розчинені органічні речовини та/або інші домішки, що впливають на її колір (наприклад, ЗОВ, осад або хлорофіл) (Куцер та ін., 2005).

Проте для глибини води в межах від 1,5 до 10 м варіації відбивної здатності залишаються у межах 5% (Lafon et al., 2002). Водночас якість води може спричиняти зміни відбивної здатності до 20% у спектральному діапазоні 0,51–0,60 мкм, що відповідає смугі 2 ТМ (Han, 1997). Крім того, смуги 1 і 3 демонструють різну відбивну здатність для однакової глибини води, хоча ця різниця є несуттєвою для глибин у межах від 1,5 до 10 м (Lafon et al., 2002).

З метою підсилення впливу параметрів якості води на спектральні дані, різниця між відбивною здатністю у смугах 1 і 3 була додана до значень смуги 2. Отримана сума була нормалізована відносно смуги 5, яка майже не зазнає впливу змін якості води чи її загального вмісту (рівняння 2). Запропонований алгоритм отримав назву **індекс якості води** (*Water Quality Index, WQI*), його математичний вигляд наведено нижче.

$$WQI = \left\{ \rho_{Green} + \frac{(\rho_{Blue} - \rho_{Red})}{\{\rho_{Green} + (\rho_{Blue} - \rho_{Red})\}} - \rho_{SWIR1} \right\} \cdot \rho_{SWIR1} \quad (2)$$

Індекс WQI дозволяє підсилити різницю спектральної яскравості між чистою та забрудненою водою, зазвичай маючи значення в діапазоні від 0 до +1. У випадках значного забруднення води деякі значення можуть перетинати нульову межу і набувати дещо від'ємних значень (рис. 1.2). У цьому контексті

нижчі або від’ємні значення індексу свідчать про наявність забрудненої води, тоді як вищі позитивні значення асоціюються з чистішою водою, зокрема в центральних частинах річки, де товщина водного шару перевищує 1,5 м, мінімізуючи вплив глибини на відбивну здатність.

Просторова модель була створена та інтегрована в систему обробки зображень для розрахунку WQI. Варто зазначити, що цей індекс є напівкількісним показником якості води, який демонструє відносні зміни її стану залежно від місця або часу. Прозорість води використовується як основний індикатор якості, і зниження прозорості розглядається як ознака забруднення, особливо у міських умовах.

Хоча WQI є напівкількісним, його значення можуть бути перетворені у кількісні параметри якості води за допомогою польових даних, що в ідеалі супроводжуються батиметричними даними для корекції впливу варіацій глибини. Існує лінійна залежність між WQI та TSS, однак, форма залежності TSS від концентрації має S-подібний характер. За низьких концентрацій зміни TSS відбуваються повільно, за середніх спостерігається різкий приріст, а за високих – досягається плато .

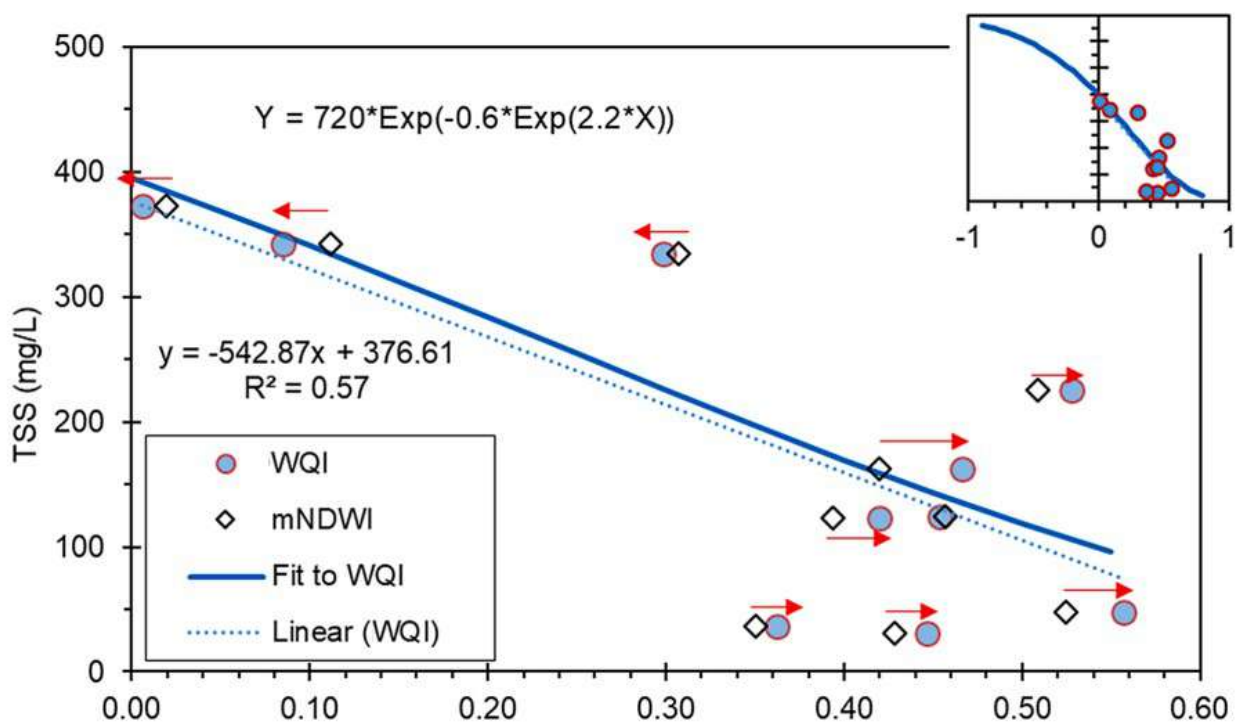


Рис.1.2 Графік значень WQI та TSS, що показує різницю між високим рівнем TSS між mNDWI та запропонованим WQI. [3].

### ***1.1.3 Індекс виявлення цвітіння водоростей: ABDI (За [4])***

В даному розділі на основі прикладу дослідження ідентифікації цвітіння водоростей в озері Хулун на основі спектральних характеристик різних типів води встановлено ABDI для сенсора MSI.

Рівняння ABDI складається з двох частин.

1)

$$ABDI = [R_{\lambda 2} - R_{Red} - (R_{NIRn} - R_{red}) \times (\lambda_{\lambda 2} - \lambda_{Red}) / (\lambda_{NIRn} - \lambda_{Red})] - [R_{red} - 0.5 \times R_{Green}]$$

Перша частина в основному використовується для виділення цвітіння водоростей, яке виражається як різниця між відбиттям RE2, і базовою лінією між червоним і NIRn діапазонами. Хоча цей аспект ABDI може відрізнити цвітіння водоростей від чистої води, існують деякі збіги між каламутною водою та цвітінням водоростей.

Відповідно, друга частина ABDI була розроблена для усунення впливу каламутної води, що досягається шляхом віднімання половини відбиття зеленої смуги від червоної. Як показано на рисунку 1.3 (d), друга частина значення ABDI каламутної води перевищує значення для цвітіння водоростей та прозорої води. Значення каламутної води значно зменшується шляхом віднімання другої частини від першої, що дозволяє відрізнити цвітіння водоростей від каламутної води.

У рівнянні (1)  $R_{Green}$ ,  $R_{Red}$ ,  $R_{RE2}$  і  $R_{NIRn}$  представляють коефіцієнти відбиття в зеленому, червоному, RE2 і NIRn відповідно, а  $\lambda_{Red}$ ,  $\lambda_{RE2}$  і  $\lambda_{NIRn}$  - центральні довжини хвиль червоного кольору, RE2 та NIRn смуг, відповідно.

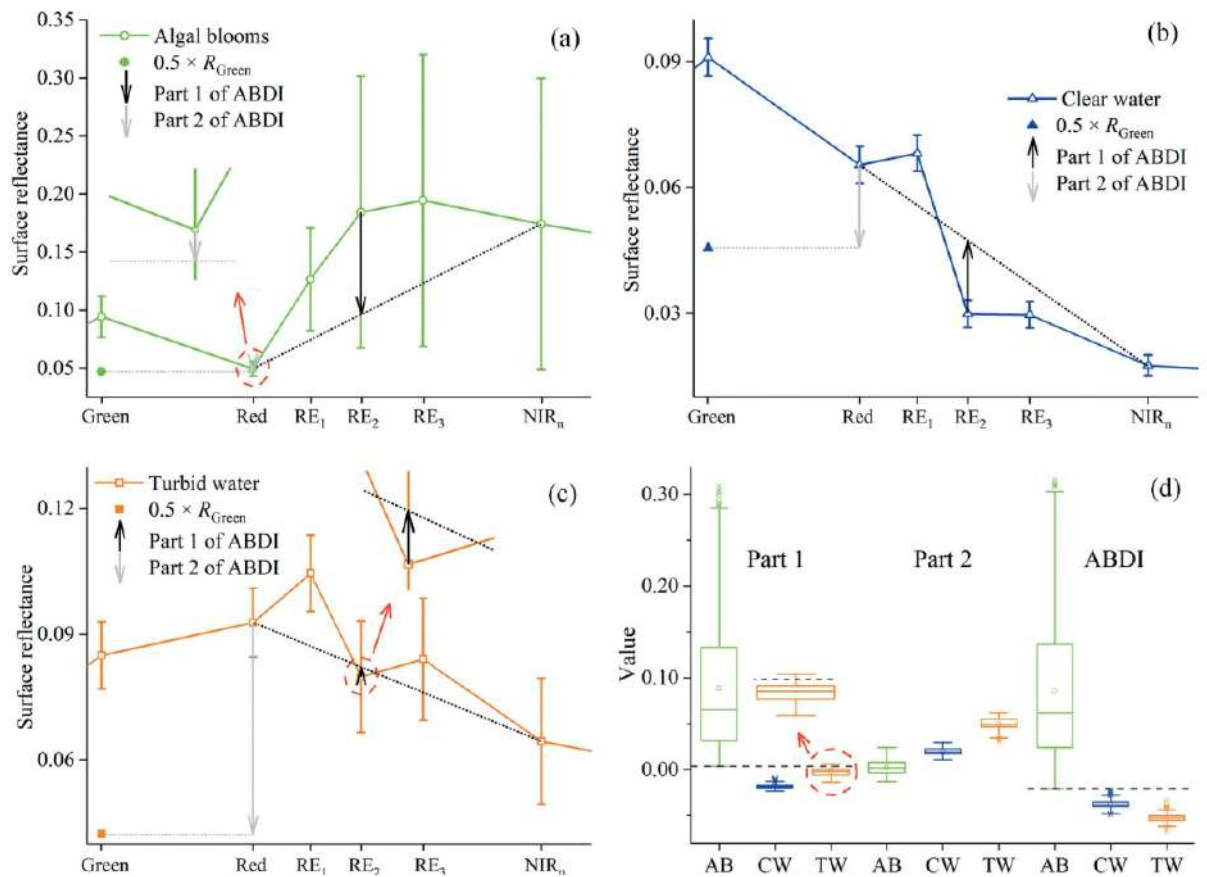


Рис 1.3 Діаграми, що описують ABDI: (а) цвітіння водоростей (AB); (б) чиста вода (CW); (в) каламутна вода (TW); (д) діаграми ABDI та частини 1 і частини 2 індексу у вигляді квадрата і вусів. Зверніть увагу, що червона пунктирна лінія вказує на розташування збільшеної області. Чорні та сірі пунктирні лінії в (а), (б) та (с) позначають базові лінії частини 1 та частини 2 індексу відповідно. Чорна пунктирна лінія позначає мінімальне значення цвітіння водоростей [4]

#### 1.1.4 Індеси оптичного дистанційного зондування вологості ґрунту (За [5])

Вологість ґрунту відіграє ключову роль у процесах, пов'язаних із водними та енергетичними циклами на поверхні суші, а також у забезпеченні стійкості екосистем наземних територій. Цей параметр є важливим для багатьох сфер досліджень, включаючи сільське господарство, моніторинг і прогнозування посух, управління водними ресурсами, прогнозування погоди та вивчення кліматичних змін.

Технології дистанційного зондування широко використовуються для спостереження за ґрунтовою вологою завдяки своїм унікальним можливостям, які включають масштабні, довготривалі, просторово розподілені та регулярні спостереження. За характеристиками електромагнітної хвилі методи дистанційного зондування ґрунтової вологи поділяються на такі категорії: методи, що базуються на використанні оптичних даних (ODM) з діапазоном довжин хвиль близько 0,4–2,0 мкм; методи, орієнтовані на теплові дані (TDM) з довжинами хвиль 8–14 мкм; та методи, що використовують мікрохвильові дані (MDM), які охоплюють довжини хвиль від 0,03 до 30 см.

Індекси вологості ґрунту, отримані за допомогою оптичних методів дистанційного зондування (у діапазоні 0,4–2,0 мкм), мають високу цінність для низки спеціалізованих застосувань, таких як спостереження за сільськогосподарськими посухами або деталізація даних мікрохвильового зондування ґрунтової вологи. Це обумовлено численними перевагами, включаючи доступність різноманітних джерел даних, вищу просторову роздільну здатність та зручність використання.

Індекс посухи у видимому та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах (VSDI) та модель оптичної трапеції (OPTRAM) демонструють перевагу над іншими оптичними індексами вологості ґрунту, коли порівнюються з даними, отриманими з літаків та *in situ*. Ці індекси також добре корелюють із часовими варіаціями вологості ґрунту, спостережуваними *in situ*. Обидва індекси, VSDI і OPTRAM, базуються на використанні двох чутливих діапазонів, які є індикативними для вологості ґрунту та рослинного покриву, а саме червоного та SWIR діапазонів. (1) VSDI досягає результатів, співставних з OPTRAM, але має простішу формулу для розрахунку, тоді як OPTRAM потребує складного процесу визначення меж між сухим та вологим станами. Саме тому у цьому дослідженні було використано VSDI:

$$VSDI = 1 - ((R_{SWIR2} - R_{Blue}) + (R_{Red} - R_{Blue})) \quad (1)$$

### ***1.1.5. Сучасні методи моніторингу забудованих територій (За [6])***

Багатоспектральні набори даних ДЗЗ широко застосовуються в урбаністичних дослідженнях через їх середню просторову роздільну здатність, помірну часову роздільну здатність, спектральне охоплення, включаючи видимий, NIR, SWIR та тепловий діапазони, а також легкий доступ і глобальне покриття. Серед основних джерел даних ДЗЗ місії Landsat пропонують найбільший стабільний історичний архів вільно доступних інструментів з глобальним охопленням серед мультиспектральних датчиків, що робить їх привабливими для аналізу часових рядів. Sentinel-2A/B забезпечує кращу просторову роздільну здатність порівняно з Landsat, з видимими діапазонами до 10 метрів. Спектрорадіометр помірної роздільної здатності (MODIS), з іншого боку, має значне охоплення для регіональних досліджень, хоча з коротким часовим інтервалом, що робить його популярним для регіональних досліджень з менш суворими вимогами до просторової роздільної здатності. Інтелектуальний спектрометр видимого/інфрачервоного діапазону (VIRIS) забезпечує кращу спектральну роздільну здатність, проте його можливості обмежені просторово-часовими параметрами. Кожен датчик ДЗЗ має свої переваги та обмеження, тому дослідникам необхідно планувати свої дослідження відповідно до наявних даних.

**Класифікація міських територій за допомогою індексів.** У дистанційному зондуванні для визначення міських територій існує безліч методів, одним із яких є використання спектральних індексів для класифікації на рівні пікселів. Вони простіші у застосуванні для широкого спектру завдань ДЗЗ порівняно з традиційними класифікаційними алгоритмами. Спектральні індекси генерують ймовірнісні результати з безперервними значеннями, на відміну від класифікаторів, які надають дискретні значення для класифікації зображень. Це робить їх популярними для кількісних маніпуляцій серед

дослідників. Спектральні індекси також застосовують у субпіксельних класифікаціях для аналізу спектрального змішування, щоб виявити кінцеві компоненти. Контрольовані методи класифікації зображень вимагають зразків для навчання, тому їм важко відтворювати географічні відмінності. Натомість індексна класифікація є неконтрольованим підходом, легко масштабованим для глобальних досліджень, працює з великими обсягами даних та має надійні характеристики. Завдяки незалежності від навчальних даних індексні класифікації зображень стають популярними в просторово-часових дослідженнях.

**Проблеми класифікації.** Спектральні індекси корисні для досліджень RSI, вимірювання LULC класів та моніторингу змін у LULC з часом. Класи міського землекористування відрізняються від природних типів земного покриву, оскільки вони є результатом людської діяльності. Окрім того, міські території мають неоднорідний та фрагментований характер, часто переплітаючись з іншими типами LULC. Спектральні сигнатури міських зон є складними: світлі пікселі можуть нагадувати сухий ґрунт, а темні — тіні, вологий ґрунт чи мілководдя.

Виділення міських зон ISA часто потребує виключення неміських класів. Спектральне індексування інших класів земного покриву також може поліпшити точність класифікації міських зон, наприклад, шляхом усунення хмарного покриву, водойм і голого ґрунту. При цьому міські забудови та голі ґрунти створюють складні задачі класифікації в ДЗЗ-дослідженнях за мультиспектральними даними. Ми пропонуємо огляд спектральних індексів, з яких лише деякі здатні розв'язати цю проблему. Спектральні індекси активно застосовуються не тільки в LULC-дослідженнях, але й в екологічних дослідженнях урбанізованих зон.

**Індекси в видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні.** Цей розділ охоплює всі спектральні індекси для міських територій, що використовують видимий, NIR та SWIR діапазони, за винятком індексів з ПАН-

діапазоном (див. Таблицю 1.2-1.3). Перший міський спектральний індекс, UI, був запропонований Kawamura та ін. (1997). NDBI, розроблений Zha та ін. (2003), став одним із найпопулярніших індексів для міських територій. Автори створили бінарний індекс на основі NDBI, де RSI класифікувався на міські та неміські території, а всі позитивні значення NDBI розглядалися як міські.

Прогрес у розрізненні ISA і голого ґрунту був повільним. Наприклад, Jieli та ін. (2010) розробили новий індекс забудови (NBI), що посилює виділення забудованих і незабудованих земель, порівняно з NDBI. NBI дає лише додатні значення для міст, хоча і не в нормалізованій формі. У ньому значення впорядковуються так: незабудовані землі > забудовані > інші типи земель, від високих до низьких значень. Для класифікації забудованих територій використовували дані Landsat TM і порогове значення 45-110, що дозволяло досягти точності 90%.

У межах подальшого розвитку NDBI, Wakhar та ін. (2012) представили два нових міських індекси: нормалізований індекс забудованої території (NBAI) та коефіцієнт смуги для забудованої території (BRBA). NBAI використовує два SWIR-діапазони, тоді як BRBA обмежується одним. У дослідженні зазначено, що ці індекси покращують точність виділення забудованих територій на 10-13% порівняно з NDBI та NBI. Однак усі вони не розрізняють забудовані території та ділянки без забудови.

Bouzekri та ін. (2015) представили новий індекс для виділення забудованих територій з використанням даних Landsat 8 і додали арифметичну константу ( $L = 0,3$ ) в чисельник. Для підвищення точності класифікації міських земель Каймаріс і Патіас (2016) розробили індекс забудови (BUI), який, попри інноваційність, мав значні пропуски в класифікації, адже враховував незабудовані території як забудовані. BUI також поєднував забудовані та незабудовані території в один клас. Багато ранніх індексів не мали на меті чіткого поділу між забудованими і незабудованими територіями; так, NDBI не

був призначений як виключно міський індекс, а як індикатор міських і незабудованих земель.

Кароліро та ін. (2020) використали смуги SWIR1 та червону для створення індексу SwiRed, адже SWIR-діапазони є найпоширенішими для міської індексації. SwiRed застосовується для автоматичного виділення забудованих територій, з пороговим значенням  $0 < \text{значення} < 0,22$ , і підходить для роботи з усіма місіями Landsat, що мають SWIR-діапазони.

**Таблиця 1.2**

*Перелік урбаністичних індексів з діапазоном спектральних довжин хвиль 400-900 нм. [6]*

SL	Equation	EQN	Reference
1	$VrNIR - BI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$	(1)	Estoque and Murayama 2015
2	$VgNIR - BI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$	(2)	
3	$BBI = NDBI_{Blue-Green,b} + NDBI_{Red-Green,b}$ where, $NDBI_{Blue-Green} = (Blue - Green) / (Blue + Green)$ , $NDBI_{Red-Green} = (Red - Green) / (Red + Green)$	(3)	Bai <i>et al.</i> 2020
4	$CBCI = (A + 1) * MBSI - OSAVI + A$ where, $MBSI = ((Red + Green) * 2) / ((Red + Green) - 2)$ , $OSAVI = (NIR - RED) / (NIR + RED + 0.16)$ and $A = 0.51$	(4)	Zhang <i>et al.</i> 2018
5	$WE - NDBI = \begin{cases} NDBI_{GF1} & (NDBI_{GF1} \leq W) \\ 0 & (NDBI_{GF1} > W) \end{cases}$ where, $NDBI_{GF1} = (Red - Green) / (Red + Green)$	(5)	Bai <i>et al.</i> 2020
6	$PISI = 0.8192 * Blue - 0.5735 * NIR + 0.0750$	(6)	Tian <i>et al.</i> 2018

SL = ; EQN = equation number.

**Таблиця 1.3**

*Перелік урбаністичних індексів зі спектральним діапазоном довжин хвиль 400-2500 нм, за винятком панхроматичних (PAN) смуг. [6]*

SL	Equation	EQN	Reference
1	$UI = ((SWIR2 - NIR) / (SWIR2 + NIR) + 1) \times 100$	(7)	Kawamura <i>et al.</i> 1997
2	$NDBI = (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR)$	(8)	Zha <i>et al.</i> 2003
3	$NBI = (Red \times SWIR1) / NIR$	(9)	Jieli <i>et al.</i> 2010
4	$NBAI = (SWIR2 - SWIR1 / Green) / (SWIR2 + SWIR1 / Green)$	(10)	Waqar <i>et al.</i> 2012
5	$BRBA = Red / SWIR1$	(11)	
6	$BAEI = (Red + L) / (Green + SWIR1)$	(12)	Bouzekri <i>et al.</i> 2015
7	$BUI = 2 * \frac{(Red * SWIR2) - (SWIR1 * SWIR2)}{(Red + SWIR1) * (SWIR1 + SWIR2)}$	(13)	Kaimaris and Patias 2016
8	$SwiRed = (SWIR1 - Red) / (SWIR1 + Red)$	(14)	Capolupo <i>et al.</i> 2020
9	$ENDISI = \frac{Blue - \alpha (SWIR1 / SWIR2 + MNDWI^2)}{Blue + \alpha (SWIR1 / SWIR2 + MNDWI^2)}$ where, $\alpha = \frac{2 * Blue_{Mean}}{\left(\frac{SWIR1}{SWIR2}\right)_{Mean} + (MNDWI^2)_{Mean}}$	(15)	Chen <i>et al.</i> 2019
10	$BU_b = NDBI_b - NDVI_b$	(16)	Zha <i>et al.</i> 2003
11	$INDBI = NDBI - NDVI$ , INDBI, also known as BUC	(17)	He <i>et al.</i> 2010
12	$IBI = \frac{[NDBI - (SAVI + MNDWI) / 2]}{[NDBI + (SAVI + MNDWI) / 2]}$	(18)	Xu 2008
13	$VIBI = NDVI / (NDVI - NDBI)$	(19)	Stathakis <i>et al.</i> 2012
14	$BCI = \frac{(H + L) / 2 - V}{(H + L) / 2 + V}$ where, H, V, and L are a normalized form of TC1, TC2, and TC3 bands	(20)	Deng and Wu 2012
15	$RNDSI = NNDSI / NTC1$ , where, NNDSI is the normalized NDSI, and NTC1 is the normalized TC1	(21)	Deng <i>et al.</i> 2015
16	$CBI = \frac{(PC1 + NDWI) / 2 - SAVI}{(PC1 + NDWI) / 2 + SAVI}$ where, PC1 is the first band of PCA	(22)	Sun <i>et al.</i> 2016
17	$BLFEI = \frac{((Green + Red + SWIR2) / 3) - SWIR1}{((Green + Red + SWIR2) / 3) + SWIR1}$	(23)	Bouhennache <i>et al.</i> 2018

SL = ; EQN = equation number.

### ***1.1.6 Індокси рослинності та процес валідації (За [7])***

Зі збільшенням роздільної здатності спектральних приладів зростає кількість смуг, отриманих за допомогою дистанційного зондування, а ширина кожної смуги зменшується. Одним із найбільш популярних індексів, який розраховується на основі мультиспектральних даних як нормалізоване

співвідношення між червоним і ближнім інфрачервоним діапазонами, є нормалізований різницевий індекс рослинності (NDVI). Він використовується для оцінки росту та щільності рослинності, і часто його порівнюють з індексом листової поверхні (LAI), який визначається як площа односторонніх листків на одиницю площі ґрунту.

Інформація про рослинність, отримана з дистанційного зондування, зазвичай аналізується на основі змін зеленого листя і спектральних характеристик рослинного пологугу. Поширений процес валідації включає кореляцію між отриманими значеннями індексів рослинності (VI) та характеристиками рослинності, виміряними на місцевості, такими як покрив, LAI, біомаса, ріст та життєздатність. Для оцінки VI застосовуються перевірені методи, що включають прямі й географічно прив'язані дані, моніторинг рослин-індикаторів, результати яких порівнюються з VI для калібрування.

Процес алометричного вимірювання, що є частиною валідації, потребує знищення певної площі листя на рослині або дереві для вимірювання LAI. Непрямі методи базуються на проксимальних вимірах за допомогою схожих спектральних приладів, які використовуються для оцінки тих самих рослин-індикаторів, що й аероплатформи. Цей метод корисний для порівняння VI, отриманих із супутника, з урахуванням атмосферних ефектів, та допомагає розрахувати коригуючі коефіцієнти. Пізніші методи, що базуються на фотографуванні пологугу, використовуються для оцінки LAI, пористості та індексу згущення через автоматизований аналіз.

Фотограмметрія пологугу із зенітним кутом у нуль градусів використовується для отримання параметрів структури пологугу видимими камерами, з подальшим розрахунком через алгоритми комп'ютерного зору. У 2008 році Фуентес і співавтори запропонували автоматизований метод для евкаліптів, що застосовувався також для інших культур, таких як виноградна лоза, для порівняння з алометричними вимірюваннями та перевірки NDVI, розрахованого із супутникових даних (WorldView-2), для яблунь з урахуванням

змінного коефіцієнта згасання світла ( $k$ ), а також для високорослих дерев, таких як вишні, з виділенням нелістяних елементів. У 2015 році був випущений додаток VitiCanopy для оцінки архітектури пологів, застосований до деревних культур через налаштування значення  $k$ . Пізніше з'явилися інші програми, що використовують RGB-фотограмметрію для оцінки LAI, зокрема PocketLAI.

**Основні вегетаційні індекси.** У 1969 році Джордан запропонував один із перших вегетаційних індексів (BI), відомий як Ratio Vegetation Index (RVI), заснований на принципі, що листя поглинає більше червоного світла порівняно з інфрачервоним. RVI математично виражається як

$$RVI = \frac{R}{NIR}, \quad (1)$$

де NIR - коефіцієнт відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні, а R - у червоному. Відповідно до спектральних характеристик рослинності, кустисті рослини мають низьке відбиття в червоному діапазоні й демонструють високий зв'язок із LAI, листковою біомасою (LDBM) і хлорофілом. RVI широко застосовується для моніторингу зеленої біомаси, особливо в умовах щільного рослинного покриву, де цей індекс забезпечує точну оцінку біомаси. Проте при низькому покритті (менше 50%) RVI стає чутливим до атмосферних впливів, що погіршує його надійність.

Індекс відмінності рослинності (DVI), запропонований пізніше, виражається як:

$$DVI = NIR - R. \quad (2)$$

і є чутливим до змін у ґрунтовому фоні, тому його часто використовують для екологічного моніторингу, називаючи екологічним вегетаційним індексом (EVI).

Перпендикулярний вегетаційний індекс (PVI) є аналогом зеленого індексу в координатах NIR - R. У системі координат NIR - R спектральна

характеристика ґрунту представлена лінією, що підсилює яскравість ґрунту, оскільки він має високу спектральну яскравість у цих діапазонах. Відстань між точкою відбиття (R, NIR) і лінією ґрунту визначається як PVI, що виражається як

$$PVI = \sqrt{(\rho_{soil} - \rho_{veg})_R^2 - (\rho_{soil} - \rho_{veg})_{NIR}^2} \quad (3)$$

де  $\rho_{ґрунту}$  - коефіцієнт відбиття ґрунту;  $\rho_{рослинності}$  - коефіцієнт відбиття рослинності. Величина PVI залежить від відстані між точками і пропорційна біомасі рослинності.

PVI також може бути визначений як

$$PVI = (DN_b - b) \cos\theta - DN_r * \sin\theta, \quad (4)$$

де  $DN_{NIR}$  і  $DN_R$  - яскравість відбитого світла в діапазонах NIR і R відповідно;  $b$  - перехрестя фонові лінії ґрунту з вертикальною віссю відбиття NIR;  $\theta$  - кут між віссю відбиття R і фоновію лінією ґрунту. PVI дозволяє мінімізувати вплив ґрунтового фону і є стійким до атмосферних впливів, тому його використовують для розрахунків LAI, оцінки продуктивності рослин і класифікації рослинності. Водночас, PVI чутливий до яскравості та відбиття ґрунту і потребує коригування, особливо при низькому покритті.

Широко використовується також нормалізований індекс різниці рослинності (NDVI), розроблений Раусом-молодшим та ін., що виражається як

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{\rho_{NIR}} + \rho_R. \quad (5)$$

Цей індекс нормалізований і змінюється в межах від 0 до 1, дозволяючи точно оцінювати зелену рослинність навіть при низькому покритті. Він використовується для глобальних оцінок рослинності, маючи зв'язок зі структурою рослинного покриву, LAI та фотосинтезом. Однак NDVI також

чутливий до факторів, таких як яскравість і колір ґрунту, атмосферні ефекти, хмари та їх тіні, тому потребує відповідної калібровки.

**Індекси рослинності з урахуванням атмосферних ефектів.** Через обмеження NDVI, спричинені атмосферними ефектами, Кауфман і Танре [40] запропонували атмосферостійкий індекс рослинності (ARVI - Atmospherically Resistant Vegetation Index). ARVI базується на відмінності в атмосферному впливі на червоний (R) і ближній інфрачервоний (NIR) діапазони. Відповідно, Кауфман і Танре ввели модифікацію для червоного каналу (R), що зменшує залежність показника від атмосферних факторів:

$$ARVI = \frac{(NIR - RB)}{(NIR + RB)}, \quad (6)$$

$$\rho_{rb}^i = \rho_r^i - \gamma(\rho_b^i - \rho_r^i),$$

де RB - різниця між значеннями B і R, відбивна здатність для молекулярного розсіювання і поглинання газами для корекції на озон. ARVI ефективно усуває вплив аерозолів, але для досягнення оптимальної корекції необхідне використання моделі атмосферного переносу 5S. Однак моделювання із застосуванням 5S вимагає фактичних параметрів атмосфери, що може ускладнити його реалізацію. Якщо ARVI не розраховується з використанням 5S, його ефективність у зниженні атмосферних ефектів, особливо великих частинок, може бути недостатньою. Тому Чжан та ін. запропонували новий атмосферостійкий індекс рослинності - IAVI, який здатний зменшити атмосферні перешкоди без моделі 5S:

$$IAVI = \frac{[\rho_{nir} - [\rho_r - \gamma(\rho_b - \rho_r)]]}{[\rho_{nir} + [\rho_r - \gamma(\rho_b - \rho_r)]]}, \quad (7)$$

де  $\gamma$  змінюється від 0,65 до 1,12; для ARVI значення близьке до 1. Похибка, спричинена атмосферою у IAVI, становить від 0,4% до 3,7%, що є значно меншим, ніж у NDVI (14-31%) за аналогічних умов.

## **1.2 Нормативно-правове забезпечення, класифікація об'єктів дослідження**

### ***1.2.1 Нормативно-правове забезпечення щодо управління водними ресурсами та зрошувальними системами в Україні***

Управління водними ресурсами та зрошувальними системами керуються об'ємною нормативно правовою базою Законів України, підзаконних актів, державними стандартами України, наказами та іншими нормативно правовими актами. У цьому підрозділі приведено перелік актуальних діючих законів і нормативно правових актів законодавства України.

1. Водний кодекс України (№ 213/95-ВР, від 06.06.1995 р., з останніми змінами)

- Основні положення: Визначає правовий режим вод, порядок їх використання, управління водними ресурсами, їх охорону та відтворення. Розділи стосовно обліку та моніторингу водних об'єктів передбачають заходи, зокрема, для зрошувальних систем, що можуть бути основою для створення ГІС.

- Додаткові документи:

– Постанова Кабінету Міністрів України від 29 січня 1996 року № 118 "Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами".

– Постанова "Про затвердження Порядку ведення державного обліку водокористування".

2. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" (№ 1264-ХІІ, від 25.06.1991 р., з останніми змінами)

- Основні положення: Забезпечує правову базу для захисту довкілля, включаючи поверхневі води, і передбачає відповідальність за порушення екологічних норм. Деякі положення передбачають зобов'язання щодо екологічного моніторингу, який можна реалізувати в ГІС для моніторингу стану каналів.

- Додаткові документи:
  - Методичні рекомендації щодо впровадження екологічного моніторингу в місцевих громадах.
  - Державна екологічна інспекція: правила моніторингу стану водних ресурсів.

3. Закон України "Про інформацію" (№ 2657-XII, від 02.10.1992 р.)

- Основні положення: Регламентує доступ до інформації, її обробку, поширення, що стосується збору та використання геопросторових даних в ГІС. Важливо для забезпечення правомірного використання інформації, що стосується зрошувальної системи.

- Додаткові документи:

- Закон України "Про доступ до публічної інформації" (№ 2939-VI, від 13.01.2011 р.), що також регулює публічний доступ до інформації, пов'язаної з екологічними даними.

4. ДСТУ ISO 19115:2014 "Географічна інформація — Метадани"

- Основні положення: Міжнародний стандарт для опису, створення та управління метаданими, необхідний для організації даних у ГІС-системах. Використовується для зберігання інформації про зрошувальні канали та інші географічні об'єкти.

- Додаткові документи:

- ISO 19157:2013 "Географічна інформація – Якість даних", що регулює питання якості та точності географічних даних.

5. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження порядку ведення державного земельного кадастру" (№ 1051, від 17.10.2012 р.)

- Основні положення: Регулює порядок збору і ведення земельних кадастрових даних, що необхідні для управління земельними ресурсами, включаючи зрошувальні території.

- Додаткові документи:

– Постанова Кабінету Міністрів України № 835 від 21 жовтня 2015 року "Про затвердження Положення про державний земельний кадастр".

6. Закон України "Про регулювання містобудівної діяльності" (№ 3038-VI, від 17.02.2011 р.)

- Основні положення: Містить положення щодо планування і використання територій, включаючи питання інженерної інфраструктури, до якої належать і зрошувальні системи. ГІС може використовуватись для аналізу та моніторингу земель і водних ресурсів в межах містобудівного планування.

- Додаткові документи:

– ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій", який вимагає використання сучасних технологій, таких як ГІС, для містобудівного планування.

7. Закон України "Про меліорацію земель" (№ 1389-XIV, від 14.01.2000 р.)

- Основні положення: Визначає правові основи здійснення меліоративної діяльності, зокрема щодо побудови, експлуатації та управління зрошувальними системами. Зокрема, встановлює вимоги до безпечного та раціонального використання земель для зрошення.

8. Закон України "Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення" (№ 2918-III, від 10.01.2002 р.)

- Основні положення: Встановлює норми якості питної води, що може використовуватись у зрошувальних системах. Передбачає заходи для захисту водних ресурсів від забруднення та регулює питання санітарної безпеки.

9. Закон України "Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах" (№ 80/94-ВР, від 05.07.1994 р.)

- Основні положення: Охоплює питання захисту інформації, зокрема ГІС-даних, від несанкціонованого доступу та забезпечує правові основи для захисту інформації у державних системах.

10. Постанова Кабінету Міністрів України № 1379 "Про порядок використання геоінформаційних систем у державних органах" (від 23.09.2015 р.)

- Основні положення: Встановлює порядок застосування геоінформаційних технологій для управління природними ресурсами у державних установах. Надає інструкції з впровадження та використання ГІС.

11. Методичні рекомендації щодо впровадження ГІС у сфері управління водними ресурсами

- Основні положення: Рекомендації, що регулюють технічні аспекти застосування ГІС у сфері моніторингу та управління водними ресурсами, включаючи зрошувальні системи. Вони містять інструкції з картографування, збору та обробки даних.

12. Закон України "Про екологічний контроль" (№ 853-IV, від 25.12.2002 р.)

- Основні положення: Визначає правові засади здійснення державного контролю за станом водних об'єктів. Передбачає заходи для охорони довкілля та моніторингу водних ресурсів.

13. Положення про екологічний моніторинг поверхневих вод України

- Основні положення: Встановлює порядок проведення моніторингу якості поверхневих вод України. Актуально для оцінки стану зрошувальних систем, регулює заходи для забезпечення належної якості водних ресурсів.

14. Накази та розпорядження Міністерства екології та природних ресурсів України

- Основні положення: Передбачає заходи з моніторингу та захисту стану водних об'єктів. Ці документи містять вимоги до ведення баз даних, що можуть інтегруватись у ГІС для моніторингу зрошувальних каналів.

15. Нормативи та державні стандарти у сфері використання водних ресурсів

1. ДСТУ 3760:2019 "Якість води. Терміни та визначення"

- Основні положення: Визначає основні терміни, пов'язані з якістю води, що є основою для моніторингу та управління водними ресурсами у зрошувальних системах.

2. СНиП (ДБН) щодо зрошувальних систем

- Основні положення: Будівельні норми та правила, що регламентують проєктування, будівництво та експлуатацію зрошувальних систем, забезпечуючи ефективне використання водних ресурсів.

### ***1.2.2 Нормативно-правове забезпечення щодо управління водними ресурсами та зрошувальними системами в ЄС***

У рамках процесу євроінтеграції є актуальним враховувати стандарти, закони і нормативні акти ЄС, для подальшої інтеграції цих норм до українського законодавства. У цьому підрозділі наведено ряд законів, директив та інших нормативних актів Європейського Союзу.

1. INSPIRE Directive (Директива 2007/2/EC)

- Основні положення: Встановлює вимоги до створення інфраструктури просторової інформації в Європейському Союзі для моніторингу екологічного стану. Регламентує методи обміну просторовими даними для сумісності між ГІС-системами в межах ЄС.

- Додаткові документи:

- INSPIRE Data Specification on Hydrography – Технічні специфікації для даних гідрографії, що включають зрошувальні канали.

- Довідкові документи INSPIRE для створення сумісних метаданих для управління водними ресурсами.

2. Water Framework Directive (Директива 2000/60/EC)

- Основні положення: Визначає екологічні норми для водних ресурсів, охоплює контроль за якістю води у річках, озерах та зрошувальних каналах. Рекомендує впровадження екологічного моніторингу через ГІС для збереження водних ресурсів у високому стані.

- Додаткові документи:

- Директива 2008/105/EC – Встановлює стандарти якості води для забезпечення екологічного моніторингу, зокрема у зрошувальних системах.

3. Директива про доступ до екологічної інформації (Directive 2003/4/EC)

- Основні положення: Гарантує право громадян ЄС на доступ до екологічної інформації, включаючи водні ресурси. Забезпечує прозорість у доступі до ГІС-даних про екологічний стан зрошувальних каналів.

- Додаткові документи:

- Директива 2007/2/EC (INSPIRE) – як додаткова основа для сумісного управління екологічними даними.

4. ISO 19115 – Географічна інформація – Метадані

- Основні положення: Використовується для стандартизації метаданих в ЄС, що дозволяє інтегрувати дані про зрошувальні системи в рамках європейських та національних ГІС. В Україні він також прийнятий, що полегшує обмін даними між країнами.

5. Глобальна програма моніторингу довкілля (GEMS/Water) – програма ООН

- Основні положення: Програма займається збором даних про стан водних ресурсів на глобальному рівні. Створює глобальну базу даних для оцінки стану водних ресурсів і сприяє міжнародній співпраці в цій галузі.

6. Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про захист і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (від 1999 р.)
  - Основні положення: Встановлює стандарти моніторингу якості води, включаючи воду для питних та господарських потреб. Спрямований на забезпечення здоров'я населення через належний рівень охорони водних ресурсів.
7. INSPIRE Directive (Директива 2007/2/EC)
  - Основні положення: Розробляє інфраструктуру просторових даних для підтримки моніторингу екологічного стану. Визначає стандарти для збору та обміну просторовими даними між країнами ЄС.
8. Water Framework Directive (Директива 2000/60/EC)
  - Основні положення: Встановлює правову базу для захисту водних ресурсів, спрямовану на досягнення високого екологічного статусу річок, озер і зрошувальних каналів, що забезпечується через екологічний моніторинг із застосуванням ГІС.
9. Directive 2003/4/EC про доступ до екологічної інформації
  - Основні положення: Гарантує право доступу до екологічної інформації, включаючи дані про стан водних ресурсів, що є важливим для відкритих ГІС.

### ***1.2.3 Класифікація об'єктів дослідження***

В рамках дослідження було виділено 3 основних класи:

1) **Водні об'єкти** (Water body) - це будь-яке значне скупчення води на поверхні Землі. Найчастіше цей термін стосується океанів, морів та озер, але він включає і менші водойми, такі як ставки, водно-болотні угіддя або, рідше, калюжі. Водойма не обов'язково має бути нерухомою або замкненою; річки, струмки, канали та інші географічні об'єкти, де вода рухається з одного місця в інше, також вважаються водоймами [8].

Більшість з них є природними географічними об'єктами, але є й штучні. Існують типи, які можуть бути і тими, і іншими. Наприклад, більшість водосховищ створені інженерними дамбами, але деякі природні озера використовуються як водосховища. Аналогічно, більшість гаваней - це природні бухти, але деякі гавані були створені шляхом будівництва[9].

2) **Рослинність (Vegetation)** - це сукупність видів рослин і ґрунтового покриву, який вони утворюють. Це загальний термін, без конкретного посилання на окремі таксони, життєві форми, структуру, просторову протяжність або будь-які інші специфічні ботанічні чи географічні характеристики. Він ширший за термін «флора», який стосується видового складу. Найближчим синонімом є рослинне угруповання, але рослинність може стосуватися і часто стосується ширшого діапазону просторових масштабів, ніж цей термін, включаючи такі великі масштаби, як глобальний. Праліси з червоного дерева, прибережні мангрові зарості, сфагнові болота, пустельні ґрунтові кірки, придорожні зарості бур'янів, пшеничні поля, культивовані сади і газони - все це охоплюється терміном «рослинність»[10].

Тип рослинності визначається характерними домінуючими видами або спільним аспектом угруповання, наприклад, висотним діапазоном або спільністю середовища. Сучасне використання терміну «рослинність» наближається до терміну еколога Фредеріка Клементса «ґрунтовий покрив», який досі використовується Бюро управління земельними ресурсами[11].

3) **Ґрунти (Soils)** - це суміш органічних речовин, мінералів, газів, рідин і організмів, які разом підтримують життя рослин і ґрунтових організмів. Деякі наукові визначення відрізняють бруд від ґрунту, обмежуючи перший термін лише переміщеним ґрунтом.

Ґрунт складається з твердої фази мінералів та органічних речовин (ґрунтової матриці), а також пористої фази, яка утримує гази (ґрунтову атмосферу) та воду (ґрунтовий розчин)[12][13] Відповідно, ґрунт - це трикомпонентна система твердих речовин, рідин та газів.[14] Ґрунт є

продуктом взаємодії кількох факторів: впливу клімату, рельєфу (висоти, орієнтації та нахилу місцевості), організмів та вихідних матеріалів ґрунту (первинних мінералів), які взаємодіють з часом. [15] Ґрунт постійно розвивається завдяки численним фізичним, хімічним і біологічним процесам, які включають вивітрювання та пов'язану з ним ерозію.[16] Враховуючи його складність і сильний внутрішній зв'язок, екологи ґрунту розглядають ґрунт як екосистему.[17].

### **1.3 Реалізовані проекти стосовно предмету дослідження**

На сьогоднішній день є багато проведених проектів досліджень що стосуються предмету дослідження роботи.

Багато вчених із різних куточків землі провели дослідження LULC (Land Usage, Land Cover) використовуючи методи дистанційного зондування. Предметами їх дослідження були як ґрунти, так і рослинність і водойми. В процесі досліджування вони запропонували власну методіку, модифікації існуючих підходів, застосування нових спектральних індексів.

Різні об'єкти мають відмінні спектральні властивості. Основний принцип виділення цільових об'єктів на супутникових зображеннях полягає в посиленні їх спектральної яскравості і пригніченні яскравості інших елементів. Для цього використовуються спектральні індекси.

Індекс можна описати як співвідношення значень в різних спектральних діапазонах для вимірювання величини коефіцієнта відбиття конкретного об'єкту.

В цьому розділі представлено стисле ознайомлення із реалізованими проектами стосовно предмету дослідження.

### ***1.3.1 Моніторинг поверхневих вод з 1984 по 2021 рік за даними Landsat часових знімків та Google Earth Engine (за [2])***

Територія дослідження та набори даних. Провінція Аньхой розташована на сході Китаю, між 29°41'-34°38' північної широти та 114°54'-119°37' східної довготи. Загальна площа провінції становить 140 100 км<sup>2</sup>. (Рис.1.4) Вона розташована в нижній течії річки Янцзи та середній течії річки Хуай, з рельєфом рівнин, пагорбів і гір з півночі на південь. Провінція лежить у перехідній зоні між теплим помірним і субтропічним кліматом, для якого характерні яскраво виражені мусони, із середньорічною температурою 14-17 °С. За водною системою провінція належить до трьох басейнів провінція належить до трьох басейнів річок Янцзи, Хуай і Сіньянь (рис. 1.4 а-с), де протікає понад 3000 малих річок і 580 озер. Озеро Чао - найбільше озеро в Аньхой і п'яте за величиною прісноводне озеро в Китаї. Середньорічна кількість опадів в Аньхой становить 800-1800 мм, а загальна кількість водних ресурсів - близько 800 × 10<sup>8</sup> м<sup>3</sup>. Річний стік сильно варіюється нерівномірно розподіляється протягом року. Кількість опадів поступово збільшується з північного заходу на південний схід і також нерівномірна з півночі на південь, що часто призводить до повеней і посух під час мусонів.

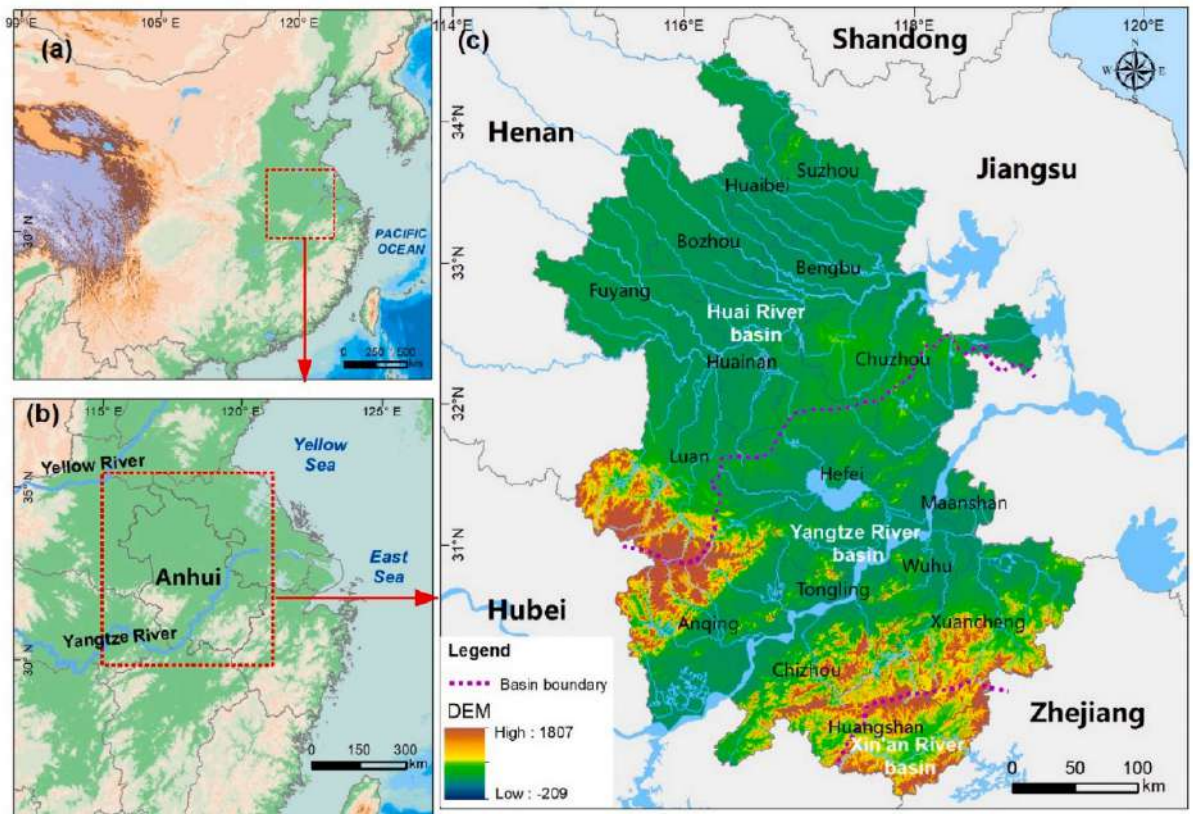


Рис. 1.4. Розташування провінції Аньхой. (а) Загальне положення досліджуваної території в Китаї. (б) Червоним кольором позначено площу провінції Аньхой провінції Аньхой. (в) Міста та загальний рельєф провінції Аньхой [2].

**Набори даних.** З огляду на можливість отримання довгих часових рядів супутникових знімків, було обрано Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) та Operation Land Imager (OLI) компанії Landsat як основні джерела даних, що охоплюють період з 1984 по 2021 роки з просторовою роздільною здатністю 30 м. Варто зазначити, що датчик ETM+ перестав функціонувати після 2003 року, тому його знімки здебільшого використовувалися для надання допоміжних матеріалів, коли кількість доступних знімків була недостатньою. Крім того, у певні роки (наприклад, у 2012 році) доступність знімків Landsat була обмеженою, тому з метою доповнення використовувалися знімки HJ-1A/B із зарядовим пристроєм (CCD) з аналогічною роздільною здатністю 30 м. Ці знімки були отримані через

Китайський центр застосування супутникових даних (<https://data.cresda.cn/>). Детальні параметри CCD HJ-1 наведені в таблиці S1.

Для оцінки точності виділення водних об'єктів застосовувалися знімки мультиспектрального приладу (MSI) Sentinel-2 з просторовою роздільною здатністю 10 м та знімки Google Earth з високою роздільною здатністю для перевірки отриманих результатів. Рівні CCD HJ-1 та MSI Sentinel-2, що використовувалися в цьому дослідженні, становили L1C та L2A відповідно. Для усунення можливих помилок, спричинених атмосферними умовами та хмарністю, використовувалися зображення поверхневого відбиття, у яких хмарність не перевищувала 10 %. Загалом було отримано 2366 зображень Landsat TM/ETM+/OLI та 4096 зображень Sentinel-2 MSI за допомогою платформи GEE.

З огляду на значний обсяг знімків, які використовувалися для досліджуваної території, робота з корекції зображень та створення мозаїк для кожної сцени окремо в програмному забезпеченні ENVI була досить трудомісткою. У зв'язку з цим було використано продукти поверхневого відбиття Landsat у програмі GEE, виконано медіанну фільтрацію для створення безхмарних композитних зображень, після чого було розраховано кілька поширених водних індексів.

Для обмеженої кількості CCD-зображень HJ-1 візуально спостерігалось зміщення позиції приблизно на 3-4 пікселі порівняно із знімками Landsat. Для усунення цих відхилень було відібрано кілька наземних контрольних точок (НКП) та виконано геометричну корекцію CCD-зображень HJ-1 із використанням знімків Landsat як еталону. Після корекції геометрична похибка CCD-зображень HJ-1 залишалася в межах одного пікселя. Усі зображення після геометричної корекції були спроектовані на Універсальну поперечну систему координат Меркатора для Північної зони 50 із системою координат WGS-84. Крім того, для перевірки результатів екстракції використовувався глобальний

щорічний набір даних про поверхневі води за період з 1984 по 2021 рік, розроблений Об'єднаним дослідницьким центром (JRC).

Авторами було застосовано ряд спектральних індексів, детально про які описано в розділі 1.1.1 (1-6)

$$2) \text{ NDWI} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{NIR}}} ;$$

$$2) \text{ MNDWI} = \frac{\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{SWIR1}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}}} ;$$

$$3) \text{ MBWI} = 2 \times \rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{Red}} - \rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{SWIR}} ;$$

$$4) \text{ AWEI}_{\text{nsh}} = 4 \times (\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{SWIR1}}) - (0.25 \times \rho_{\text{NIR}} + 2.75 \times \rho_{\text{SWIR2}}) ;$$

$$5) \text{ AWEI}_{\text{sh}} = \rho_{\text{Blue}} + 2.5 \times \rho_{\text{Green}} - 1.5 \times \rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{SWIR1}} - 0.25 \times \rho_{\text{SWIR2}} ;$$

$$6) \text{ WI}_{2015} = 1.7204 + 171 \times \rho_{\text{Green}} + 3 \times \rho_{\text{Red}} - 70 \times \rho_{\text{NIR}} - 45 \rho_{\text{SWIR1}} - 71 \times \rho_{\text{SWIR2}} .$$

Далі було проведено кластеризацію нечітких С-середніх та порогова сегментація. Покращено ідентифікацію водних об'єктів та пригнічено фон після розрахунку водних індексів. Застосовані методи продемонстровані на рис.1.5

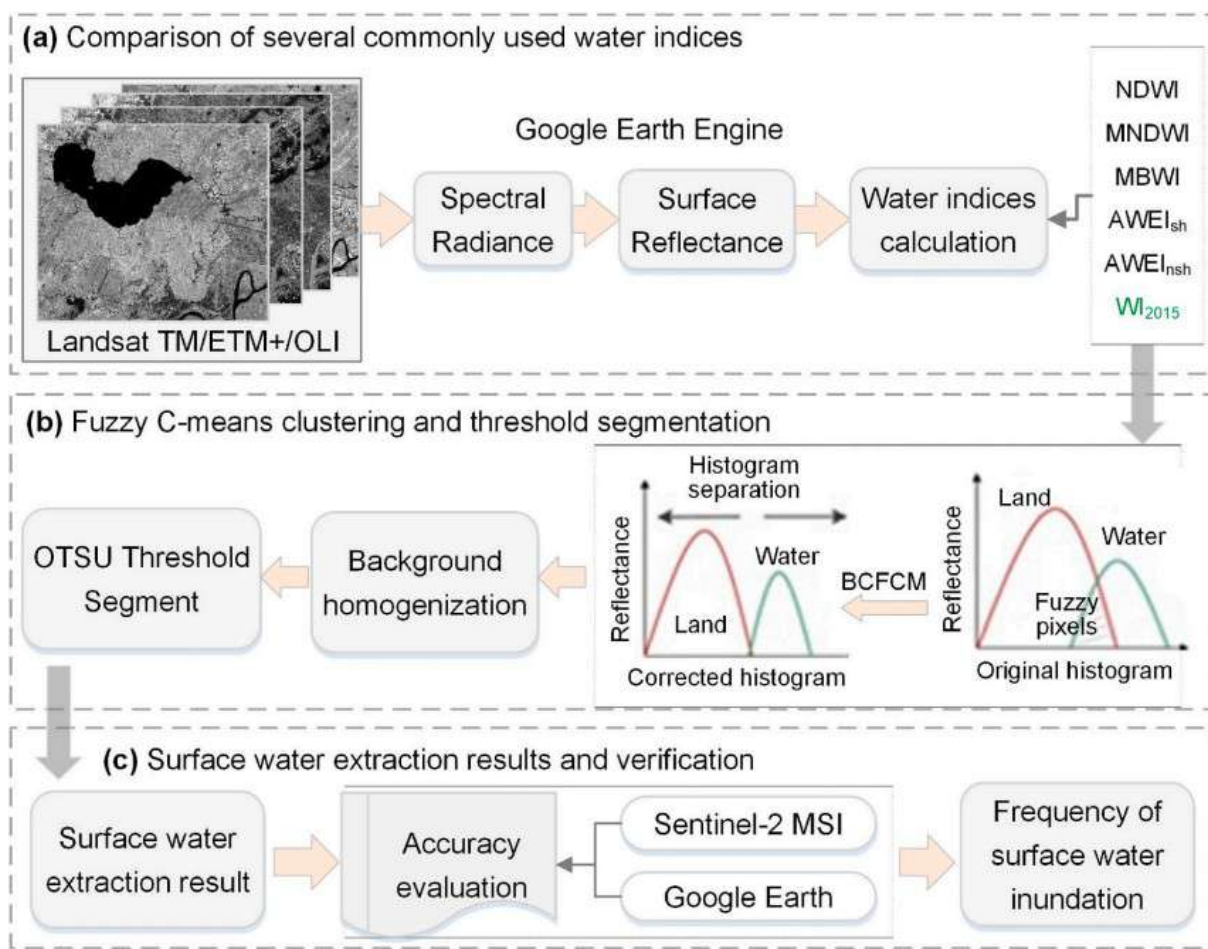


Рис.1.5 Блок-схема методу вилучення води в цьому дослідженні [2].

Для перевірки точності вилучення води в цьому дослідженні спочатку були застосовані методи порогової сегментації BCFCM та OTSU для шести водних індексів, згаданих вище. Для отримання карт розподілу поверхневих вод відповідно; по-друге, класифікаційні зразки були з шести результатів для поверхневих вод, а зразки для валідації були обрані на основі зображень Sentinel-2 MSI та Google Earth (Рис.1.6 – 1.7);

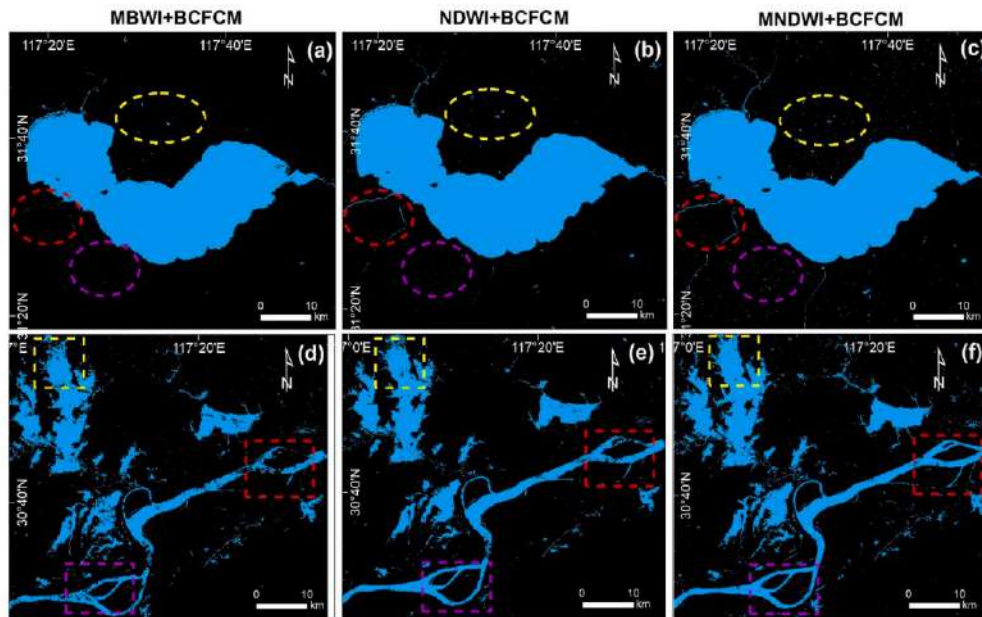


Рис.1.6 Порівняння результатів вилучення поверхневих вод для MBWI, NDWI та MNDWI у поєднанні з BCFCM. (а-с) Басейн озера Чао; (d-f) Басейн річки Янцзи [2].

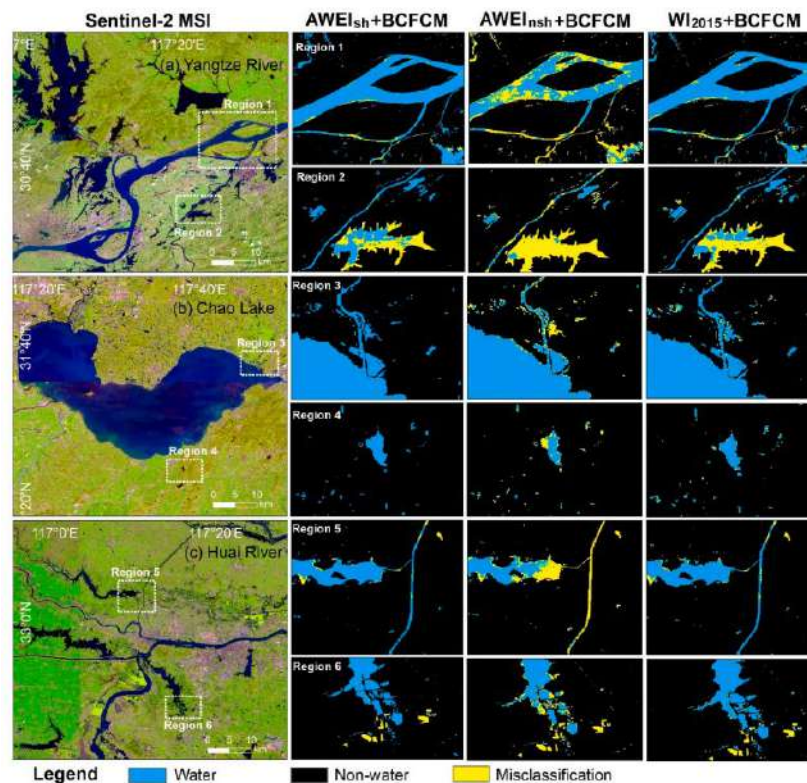


Рис.1.7 Порівняння озер та річкових мереж з AWEIsh, AWEInsh та WI2015 у поєднанні з BCFCM, де синім кольором позначені водні об'єкти а жовтим - неправильно класифіковані водні об'єкти. (а) Басейн річки Янцзи та дві його локальні збільшені ділянки; (b) озеро Чао та дві його локальні збільшені ділянки; (c) озеро Хуанхе та дві локальні збільшені ділянки; (d) озеро Хуанхе та дві локальні [2].

Після оцінки точності, і отримання задовільних результатів було оформлено ряд тематичних карт (Рис.1.8)

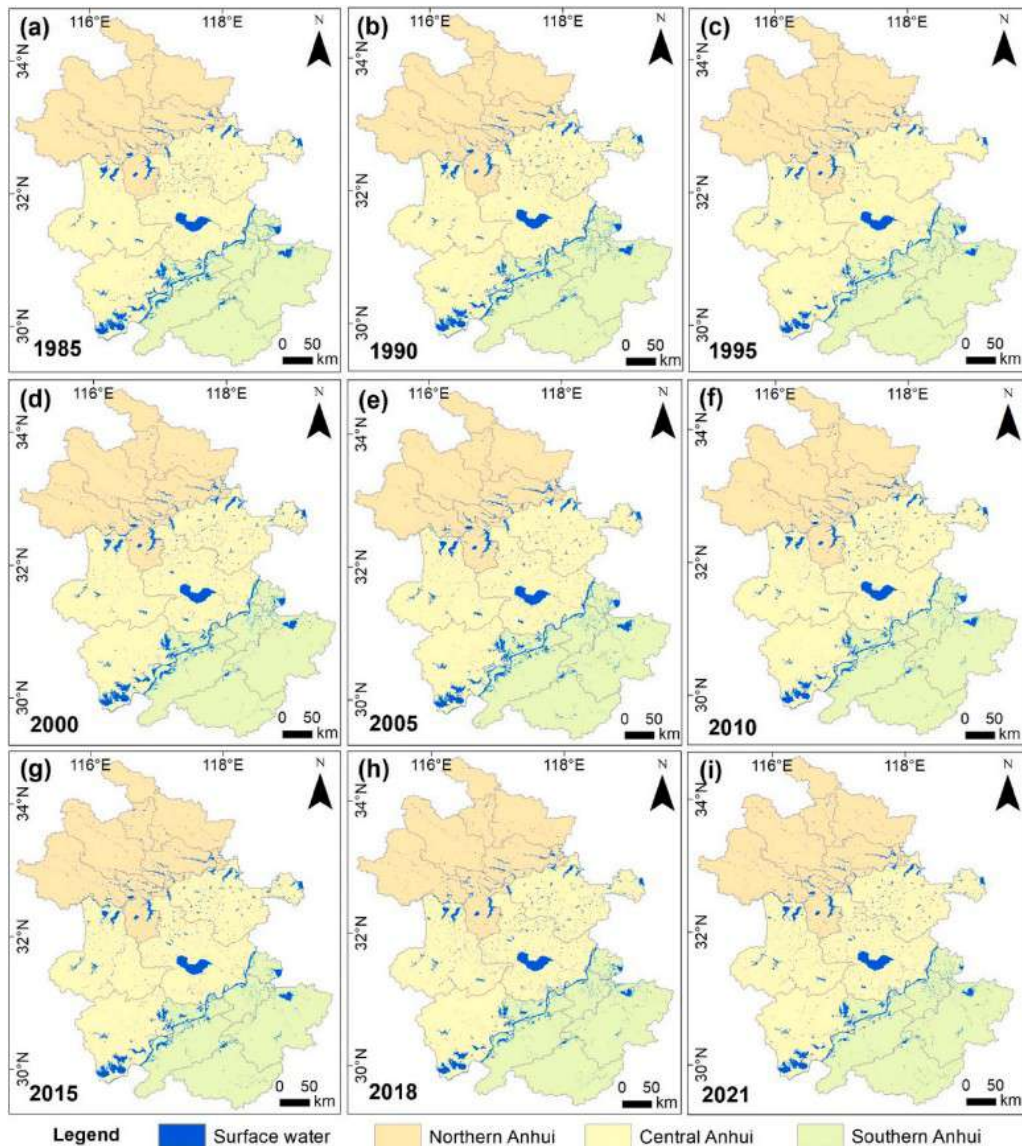


Рис.1.8 Просторовий розподіл поверхневих водних об'єктів у провінції Аньхой з 1984 по 2021 рік. [2]

### *1.3.2 Індекс якості води на основі відбивної здатності та його застосування для вивчення деградації якості річкової води в мегаполісі, що швидко урбанізується*

Опис зони дослідження. Мегаполіс Дакка - поліцентрична урбанізована територія - розташований в центральній частині Бангладешу і має площу близько 1500 км<sup>2</sup> (Hassan and South worth, 2018; Corner та ін., 2014). Вся

територія Дакки, як правило, має нахилена на південь і дренається притоками і розподільниками річок Ганг, Брахмапутра та Мегхна (ГБМ). Ці притоки та ці притоки та розподільники не тільки дренають близько 2 м опадів (80% з яких випадає у вигляді дощу). 2 м опадів (80% з них випадає між червнем і вереснем), що випадають щороку, але й відводять надмірні мусонні потоки річок ГВБ нижче за течією через Буріганга-Дхалешварі-Сіталакх'я, а також понад 650 млн. м3 побутових стічних вод (з розрахунку 100 л/людину/день), які щорічно продукуються міськими каналізаційними системами.

Поточне дослідження (близько 1100км<sup>2</sup>) фокусується на річках довжиною 110 км (Тураг-Буріганга, Балуг-Сіталакхья і канал Тонгі Кхал, що з'єднує річки Тураг і Балуг) навколо основної частини міста, а також на річках Тураг-Буріганга і Балуг-Сіталакхья річок) навколо основної частини міста Дакка - центрального регіону. Детальний план території (ДПТ) (Рис. 1.9). Основними характеристиками Тонгі Кхал є те, що вона має двонаправлену течію, тобто під час мусонів вона працює як притокою річки Балуг, в той час як в сухий сезон вона стає притокою річки Тураг. Річки мають ширину до 500 м

Ширина річок сягає 500 м (і не менше 50 м), а глибина змінюється в різних частинах русла, але глибина в середині русла ніде не становить менше 2 м. Річка Буріганга є найглибшою, до 10 м, і найширшою. Більшість річок характеризується мулистими-мулистими відкладеннями.

У Дакка проживає понад 18 мільйонів людей, кількість яких подвоїлася з 2000 року і, за прогнозами, перевищить 27 мільйонів до 2030 року. Приблизно 500 000 сільських жителів мігрують до Дакки щороку через швидке промислове зростання, будівництво та сферу послуг. Більшість мігрантів працюють у швейній та переробній промисловості, які поширюються в периферійних заплавах районах, схильних до сезонних повеней. Ці галузі, які складають 74% від загальної кількості в країні, здебільшого не регулюються і часто скидають свої відходи в річки та заплави. Неочищені стічні води та промислові стоки є основними причинами забруднення в місті Дакка та його околицях .

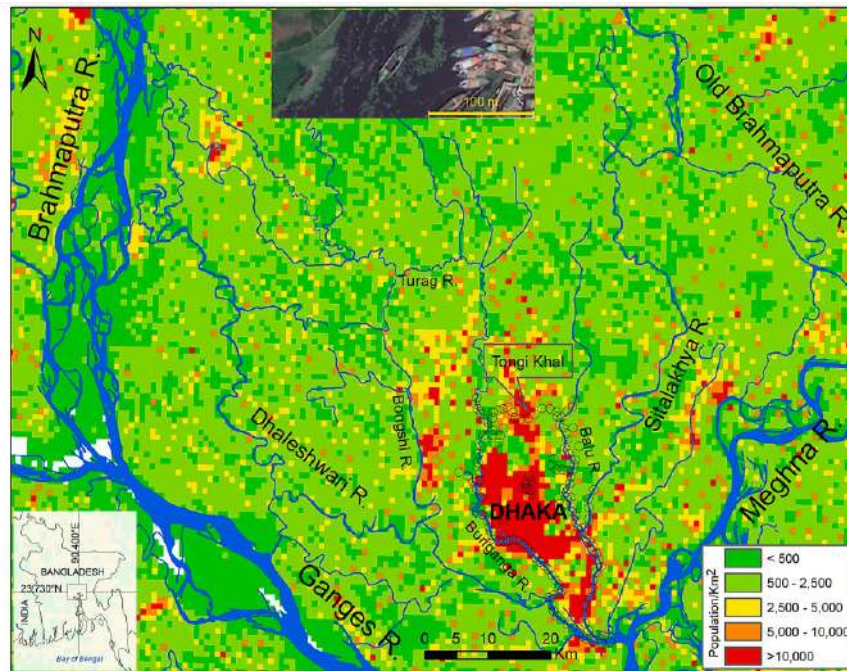


Рис.1.9 Детальний план території [3].

Набір даних і методи. Загалом було використано 34 сцени з сенсорів Landsat 5 та 8. Вони представляють дані рівня 2, які відкалібровані радіометрично та скориговані на атмосферні впливи. По суті, продукт рівня 2 забезпечує оцінку відбивної здатності поверхні так, як вона була б виміряна з поверхні землі. Існує різниця у спектральному покритті між Landsat 5 і 8, але вони перекриваються і мають однакову просторову (тобто 30 м) роздільну здатність. Еквівалентні діапазони еквівалентні діапазони між знімками (Landsat 5 і 8), тобто діапазони 1-7 за винятком 6 (теплового діапазону) Landsat 5 та діапазонів 2-7 Landsat 8, були об'єднані за допомогою програми обробки зображень (Hexagon Geospatial, 2016), що дозволило створити мультиспектральні зображення, які потім мозаїку для створення єдиного зображення кожної дати для досліджуваної території.

Далі автори використовуючи наземні дані TSS (Total Suspended Soils) та Water Quality Index, провели дослідження і отримали дані про забруднення води(Рис.2.0 - 2.1).

Детальніше про WQI в розділі 1.1.2

$$1) WQI = \left\{ \rho_{Green} + \frac{(\rho_{Blue} - \rho_{Red}) - \rho_{SWIR1}}{\rho_{Green} + (\rho_{Blue} - \rho_{Red})} + \rho_{SWIR1} \right\}$$

Індекс WQI дозволяє підсилити різницю спектарльної яскравості між чистою та забрудненою водою, зазвичай маючи значення в діапазоні від 0 до +1. У випадках значного забруднення води деякі значення можуть перетинати нульову межу і набувати дещо від'ємних значень (рис. 3). У цьому контексті нижчі або від'ємні значення індексу свідчать про наявність забрудненої води, тоді як вищі позитивні значення асоціюються з чистішою водою, зокрема в центральних частинах річки, де товщина водного шару перевищує 1,5 м, мінімізуючи вплив глибини на відбивну здатність.

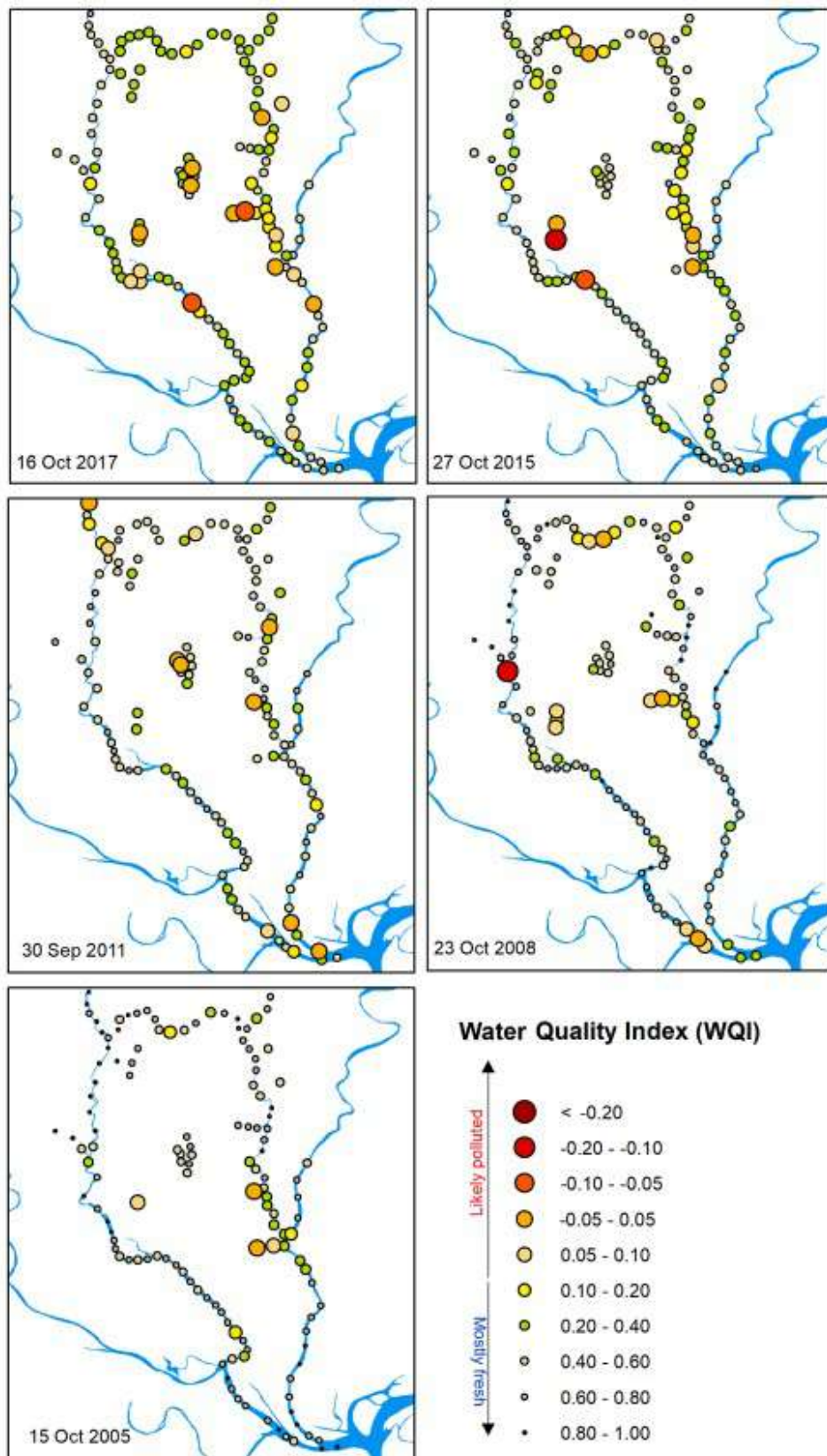


Рис.2.0 Зміна значень WQI протягом сезону дощів між 2005 та 2017 роками. [3].

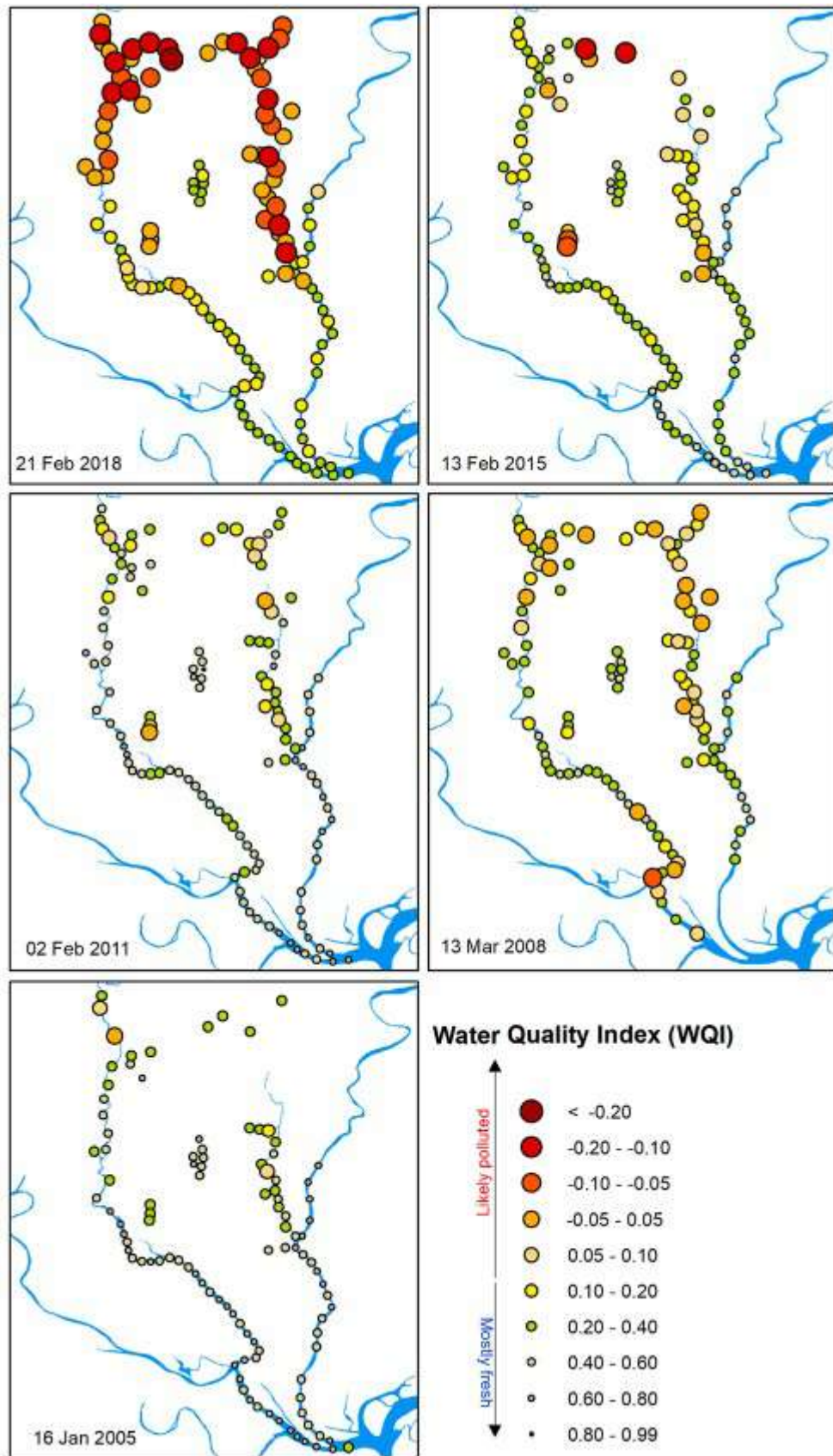


Рис.2.1 Зміни значень WQI протягом посушливого сезону з 2005 по 2018 рік.

[3].

## **1.4 Аналіз та вибір джерел вихідних даних за вичерпною інформацією для забезпечення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр**

В рамках дослідження основним джерелом даних є дані дистанційного зондування землі. Для проведення дослідження потрібен набір безкоштовних даних, із задовільною просторовою здатністю для забезпечення максимально можливої точності, виходячи із доступних безкоштовних наборів даних. Цим вимогам відповідає дані отримані із сенсору Sentinel – 2 L2, які мають усі необхідні базові корекції, радіометричну, атмосферну, та орторектифікацію на загальну DEM 90m, що дає в результаті надає дані відображення земної поверхні (Surface Reflectance)

Призначений для постачання даних для сервісів «Copernicus», Sentinel-2 оснащений низкою технологій, таких як багатоспектральні інструменти для моніторингу суші, океану та атмосфери (Таблиця 1.4). Він передає оптичні зображення з високою роздільною здатністю для моніторингу суші, реагування на надзвичайні ситуації та служб безпеки. Мультиспектральний тепловізор супутника забезпечує універсальний набір з 13 спектральних діапазонів, що охоплюють від видимого і ближнього інфрачервоного до короткохвильового інфрачервоного (Таблиця 1.5).

Copernicus - це компонент космічної програми Європейського Союзу, що займається спостереженням Землі і вивчає нашу планету та її навколишнє середовище на користь усіх громадян Європи. Вона пропонує інформаційні послуги, які базуються на даних супутникового спостереження Землі та наземних (не космічних) даних.

Програмою керує Європейська Комісія. Вона реалізується у партнерстві з державами-членами, Європейським космічним агентством (ESA), Європейською організацією з експлуатації метеорологічних супутників (EUMETSAT), Європейським центром середньострокових прогнозів погоди

(ECMWF), агентствами ЄС та Mercator Océan, Європейським агентством з навколишнього середовища (EEA), Об'єднаним дослідницьким центром (JRC).

Величезні обсяги глобальних даних із супутників та наземних, повітряних і морських вимірювальних систем надають інформацію, яка допомагає постачальникам послуг, державним органам влади та іншим міжнародним організаціям покращувати якість життя європейських громадян і не тільки. Надані інформаційні послуги є безкоштовними і відкриті для користувачів.

Таблиця 1.4

#### Основні відомості Sentinel-2

Власність	Інформація
Просторова роздільна здатність	10 м, 20 м і 60 м залежно від довжини хвилі
Сенсор	Мультиспектральний прилад (MSI), 13 діапазонів: 4 видимих діапазони, 6 діапазонів ближнього інфрачервоного діапазону та 3 діапазони короткохвильового інфрачервоного діапазону
Періодичність зйомки	5 днів
Просторове охоплення	Суша та прибережні території між широтами 56°S і 83°N
Доступність даних	3 жовтня 2016 р. Глобально 3 січня 2017 р
Вимірювання	Коефіцієнт відбиття нижньої частини атмосфери (BOA), оброблений з L1C за допомогою Sen2Cor
Загальне використання/призначення	Карти ґрунтового покриття, карти виявлення зміни рельєфу, моніторинг рослинності, моніторинг горілих територій

Таблиця 1.5

#### Доступні діапазони та дані. Канали Sentinel 2 – L2

Назва	Опис	Роздільна здатність
B01	Coastal aerosol, 442.7 nm (S2A), 442.3 nm (S2B)	60m

B02	Blue, 492.4 nm (S2A), 492.1 nm (S2B)	10m
B03	Green, 559.8 nm (S2A), 559.0 nm (S2B)	10m
B04	Red, 664.6 nm (S2A), 665.0 nm (S2B)	10m
B05	Vegetation red edge, 704.1 nm (S2A), 703.8 nm (S2B)	20m
B06	Vegetation red edge, 740.5 nm (S2A), 739.1 nm (S2B)	20m
B07	Vegetation red edge, 782.8 nm (S2A), 779.7 nm (S2B)	20m
B08	NIR, 832.8 nm (S2A), 833.0 nm (S2B)	10m
B8A	Narrow NIR, 864.7 nm (S2A), 864.0 nm (S2B)	20m
B09	Water vapour, 945.1 nm (S2A), 943.2 nm (S2B)	60m
B11	SWIR, 1613.7 nm (S2A), 1610.4 nm (S2B)	20m
B12	SWIR, 2202.4 nm (S2A), 2185.7 nm (S2B)	20m
AOT	Aerosol Optical Thickness map, based on Sen2Cor processor	10m
SCL	Scene classification data, based on Sen2Cor processor, codelist	20m
SNW	Snow probability, based on Sen2Cor processor	20m
CLD	Cloud probability, based on Sen2Cor processor	20m
CLP	Cloud probability, based on s2cloudless (more)	160m
CLM	Cloud masks (more)	160m
sunAzimuthAngles	Sun azimuth angle	5000m
sunZenithAngles	Sun zenith angle	5000m
viewAzimuthMean	Viewing azimuth angle	5000m
viewZenithMean	Viewing zenith angle	5000m
dataMask	The mask of data/no data pixels (more).	N/A*

Copernicus має звій веб-ресурс (<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>), який надає доступ до відкритих даних через Copernicus Browser (Рис.2.2)

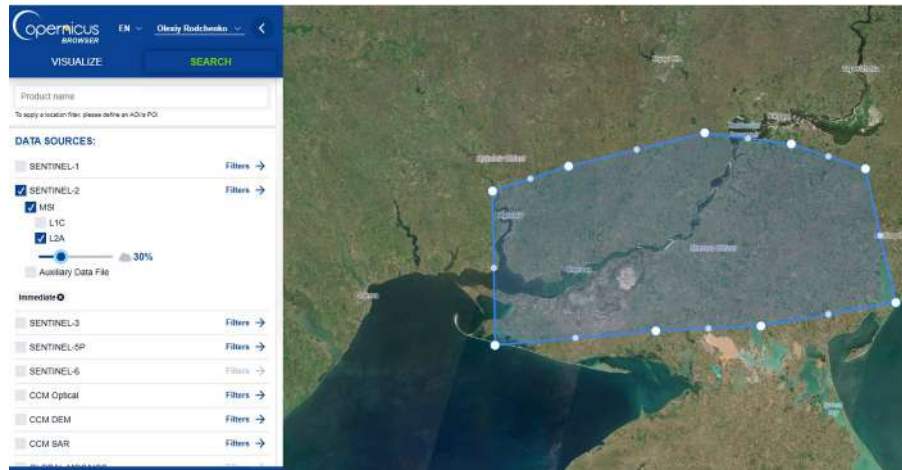


Рис.2.2 Copernicus Browser

Для пошуку даних було вибрано зону дослідження, колекцію Sentinel 2 L-2 із хмарністю до 30%. Зону дослідження покривають 6 знімків (Рис.2.3).

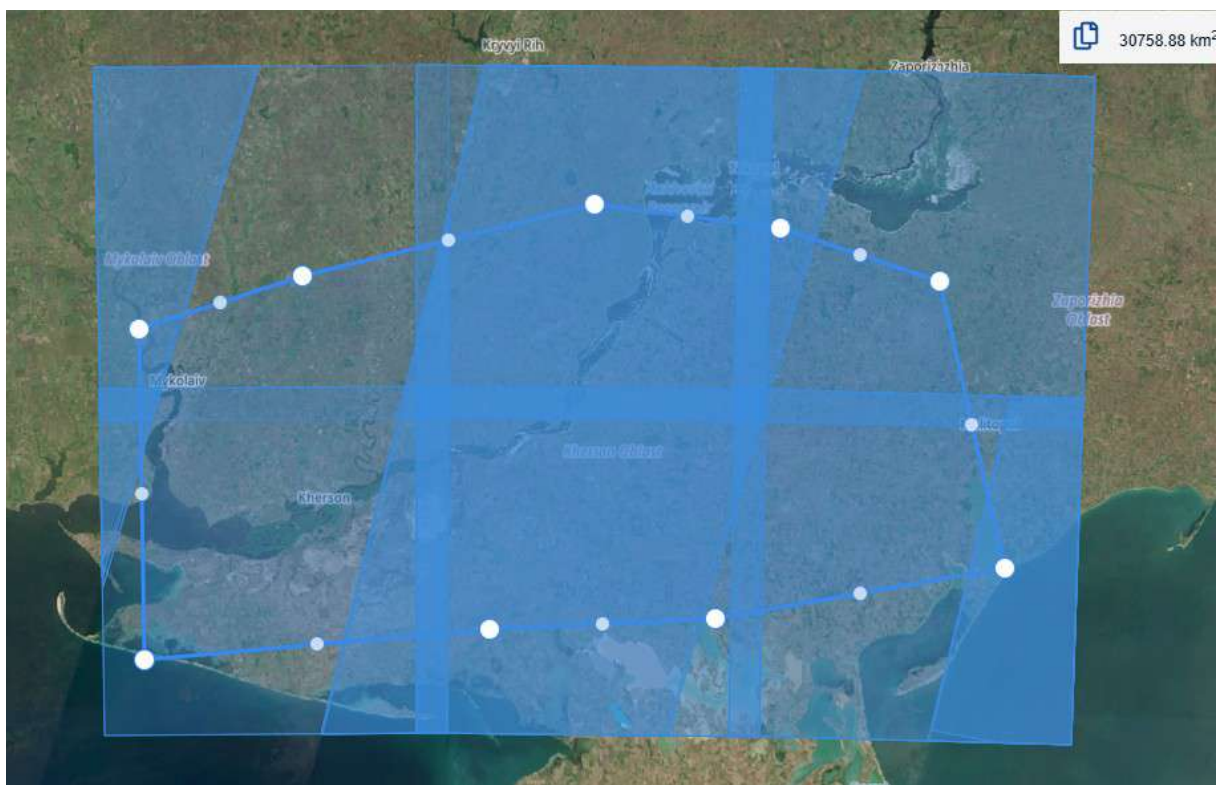


Рис.2.3 Знімки що покривають зону дослідження

Для подачі даних обраних для дослідження умовно було присвоєно псевдоніми зони дослідження за їх розташуванням: left\_down – лівий нижній знімок, left\_up – лівий верхній, center\_up – центральний верхній, center\_down – центральний нижній, right\_down – правий нижній, right\_up – правий верхній.

Було проаналізовано потенційні набори знімків, для кожного року, пріоритетно за літній період, у випадку коли не вистачало даних, чи вони не відповідали вимогам хмарності, обирались знімки за весняний, чи осінній період:

Instrument:MSI  
Mission:SENTINEL-2  
2018 year

Sensing time:2018-08-28T08:45:49.024000Z  
left\_down:  
Name:S2B\_MSIL2A\_20180828T084549\_N0500\_R107\_T36TVS\_20230731T055427.SAFE  
left\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20180828T084549\_N0500\_R107\_T36TVT\_20230731T055427.SAFE  
center\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20180828T084549\_N0500\_R107\_T36TWT\_20230731T055427.SAFE

Sensing time:2018-08-30T08:36:01.024000Z  
center\_down:  
Name: S2A\_MSIL2A\_20180830T083601\_N0500\_R064\_T36TWS\_20230817T053516.SAFE

Sensing time: 2018-08-25T08:35:49.024000Z  
right\_down:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20180825T083549\_N0500\_R064\_T36TXS\_20230826T033424.SAFE  
right\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20180825T083549\_N0500\_R064\_T36TXT\_20230826T033424.SAFE

2019 year

Sensing time:2019-08-23T08:46:09.024000Z  
left\_down:  
Name:S2B\_MSIL2A\_20190823T084609\_N0500\_R107\_T36TVS\_20230506T135738.SAFE  
left\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20190823T084609\_N0500\_R107\_T36TVT\_20230506T135738.SAFE  
center\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20190823T084609\_N0213\_R107\_T36TWT\_20190823T112510.SAFE

Sensing time:2019-08-25T08:36:01.024000Z  
center\_down:  
Name: S2A\_MSIL2A\_20190825T083601\_N0213\_R064\_T36TWS\_20190825T112543.SAFE  
right\_down:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20190830T083609\_N0213\_R064\_T36TXS\_20190830T123940.SAFE  
right\_up:  
Name: S2B\_MSIL2A\_20190830T083609\_N0213\_R064\_T36TXT\_20190830T123940.SAFE

2020 year

Sensing time:2020-08-27T08:45:59.024000Z

left\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20200827T084559\_N0214\_R107\_T36TVS\_20200827T105514.SAFE

left\_up:

Name: S2B\_MSIL2A\_20200827T084559\_N0214\_R107\_T36TVT\_20200827T105514.SAFE

Sensing time:2020-08-29T08:36:11.024000Z

center\_up:

1)Name:S2A\_MSIL2A\_20200829T083611\_N0214\_R064\_T36TWT\_20200829T112650.SAFE

2)Sensing time:2020-08-27T08:45:59.024000Z

Name:S2B\_MSIL2A\_20200827T084559\_N0214\_R107\_T36TWT\_20200827T105514.SAFE

center\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20200829T083611\_N0214\_R064\_T36TWS\_20200829T112650.SAFE

right\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20200829T083611\_N0214\_R064\_T36TXS\_20200829T112650.SAFE

right\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20200829T083611\_N0214\_R064\_T36TXT\_20200829T112650.SAFE

2021 year

Sensing time:2021-10-26T08:50:41.024000Z

left\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20211026T085041\_N0301\_R107\_T36TVS\_20211026T103226.SAFE

left\_up:

Name: S2A\_MSIL2A\_20211026T085041\_N0301\_R107\_T36TVT\_20211026T103226.SAFE

Sensing time:2021-10-26T08:50:41.024000Z

center\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20211026T085041\_N0301\_R107\_T36TWT\_20211026T103226.SAFE

Sensing time:2021-10-28T08:39:49.024000Z

center\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20211028T083949\_N0301\_R064\_T36TWS\_20211028T105002.SAFE

right\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20211028T083949\_N0301\_R064\_T36TXS\_20211028T105002.SAFE

right\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20211028T083949\_N0301\_R064\_T36TXT\_20211028T105002.SAFE

2022 year

Sensing time:Sensing time:2022-08-07T08:45:59.024000Z

left\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20220807T084559\_N0400\_R107\_T36TVS\_20220807T102116.SAFE

left\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20220807T084559\_N0400\_R107\_T36TVT\_20220807T102116.SAFE

center\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20220807T084559\_N0400\_R107\_T36TWT\_20220807T102116.SAFE

Sensing time:2022-08-07T08:45:59.024000Z

center\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20220807T084559\_N0400\_R107\_T36TWS\_20220807T102116.SAFE

Sensing time:2022-08-29T08:36:11.024000Z

right\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20220829T083611\_N0400\_R064\_T36TXS\_20220829T131804.SAFE

right\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20220829T083611\_N0400\_R064\_T36TXT\_20220829T131804.SAFE

2023 year

Sensing time:2023-08-27T08:46:01.024000Z

left\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20230827T084601\_N0509\_R107\_T36TVS\_20230827T131703.SAFE

left\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20230827T084601\_N0509\_R107\_T36TVT\_20230827T131703.SAFE

Sensing time:2023-08-17T08:46:01.024000Z

center\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20230817T084601\_N0509\_R107\_T36TWT\_20230817T145506.SAFE

Sensing time:2023-08-24T08:36:11.024000ZZ

center\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20230824T083611\_N0509\_R064\_T36TWS\_20230824T145955.SAFE

Sensing time:2023-09-18T08:36:19.024000Z

right\_down:

Name:S2B\_MSIL2A\_20230918T083619\_N0509\_R064\_T36TXS\_20230918T123118.SAFE

right\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20230918T083619\_N0509\_R064\_T36TXT\_20230918T123118.SAFE

2024 Year

Sensing time:2024-08-11T08:46:01.024000Z

left\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20240811T084601\_N0511\_R107\_T36TVS\_20240811T151854.SAFE

Sensing time:2024-08-26T08:45:59.024000Z

left\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20240826T084559\_N0511\_R107\_T36TVT\_20240826T114804.SAFE

center\_up:

Name:S2B\_MSIL2A\_20240826T084559\_N0511\_R107\_T36TWT\_20240826T114804.SAFE

Sensing time:2024-08-18T08:36:01.024000Z

center\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20240818T083601\_N0511\_R064\_T36TWS\_20240818T115150.SAFEE

right\_down:

Name:S2A\_MSIL2A\_20240818T083601\_N0511\_R064\_T36TXS\_20240818T115150.SAFE

right\_up:

Name:S2A\_MSIL2A\_20240818T083601\_N0511\_R064\_T36TXT\_20240818T115150.SAFE



## 2.1 Обґрунтування обраних методів дослідження та програмного забезпечення.

Методи дистанційного зондування дозволяють отримати великий обсяг інформації на велику ділянку території швидко, та без потреби фізичного доступу дослідника до цієї території. Враховуючи сучасні обставини бойових дій, зокрема у частині Херсонській області, єдиний можливий спосіб який охоплює й окуповані території є методи дистанційного зондування.

Як було описано у розділі 1.5 набір даних Sentinel-2 L2 є найбільш оптимальним для цієї задачі.

Використання мультиспектральних знімків Sentinel-2 дасть можливість отримати найбільш повну інформацію про земельний покрив ділянки, отриману внаслідок відбивних властивостей об'єктів в усьому оптичному спектральному діапазоні.

Застосування спектральних індексів дасть можливість отримати набір специфічної інформації для формування геопросторових даних тематичного набору.

Різні об'єкти мають відмінні спектральні властивості. Основний принцип виділення цільових об'єктів на супутникових зображеннях полягає в посиленні їх спектральної яскравості і пригніченні яскравості інших елементів.

Для цього використовуються спектральні індекси. Індекс можна описати як співвідношення значень в різних спектральних діапазонах для вимірювання величини коефіцієнта відбиття конкретного об'єкту.

Використання водних індексів  $AWEI$  та  $WI_{2015}$  дасть найбільш точні растрові дані із виділеними водними об'єктами, посилаючись на [2].

Індекси  $WQI$  та  $ABDI$  нададуть інформацію про забрудненість води (Water Quality) та цвітіння води (Algae Bloom) [3][4].

Індекс  $VSDI$  надасть інформацію про вологість ґрунтів (Soil moisture)[5]

Індекс  $ARVI$  дасть точні растрові дані із виділеною рослинністю. [7]

Все це забезпечить повний набір тематичних даних необхідних для дослідження.

Обробити та класифікувати ці дані допоможе Google Earth Engine - хмарна платформа геопросторового аналізу, яка дозволяє користувачам візуалізувати та аналізувати космічні знімки для великих територій.

Google Earth Engine (далі GEE) - це хмарна платформа геопросторового аналізу, яка дозволяє користувачам візуалізувати та аналізувати супутникові знімки нашої планети. Науковці та некомерційні організації використовують Earth Engine для досліджень дистанційного зондування, прогнозування спалахів хвороб, управління природними ресурсами тощо.

Слід зазначити, що більшість досліджень проводяться на невеликих територіях через обмеження, пов'язані з великим обсягом даних. Це було вирішено у функціоналі хмарної платформи Google Earth Engine. [19][20][21].

Оскільки проведення дослідження пов'язано з великим обсягом даних, то використання GEE й найкращою, оптимальною опцією для його реалізації.

GEE дасть змогу провести комплексну керовану класифікацію великого обсягу зображень за роки досліджень, використовуючи спектральні індекси для досягнення більшої точності класифікації.

Так само у GEE буде підраховано точність, та експортовано усі класифіковані зображення, для подальшої обробки та створення тематичних карт.

Для реалізації проектного БГД було використано PostgreSQL

PostgreSQL є потужною та надійною системою керування базами даних (СКБД). Дана СКБД повністю забезпечує усі можливості для реалізації поставленої задачі:

Розширенні геопросторові можливості: PostgreSQL надає розширені функції для роботи з геопросторовими даними через розширення PostGIS. PostGIS дозволяє зберігати, опрацьовувати та запитувати географічні об'єкти, що робить його ідеальним вибором для проектів, пов'язаних з геопростором.

Відкритий код та активна сільнота: PostgreSQL є відкритим кодом, що означає, що ви можете вільно використовувати, змінювати та поширювати його. Крім того, велика та активна спільнота розробників підтримує PostgreSQL, що забезпечує швидкий розвиток, покращення та виправлення помилок.

Надійність та масштабованість: PostgreSQL славиться своєю стабільністю та надійністю. Він може обробляти великі обсяги даних і масштабуватися від невеликих проєктів до великих підприємств. Це важливо для геопросторових даних, оскільки вони часто мають великий обсяг і вимагають ефективного управління ресурсами.

Широкі можливості оптимізації запитів: PostgreSQL надає різні засоби для оптимізації запитів, що дозволяє покращити продуктивність при роботі з геопросторовими даними. Індексція, оптимізація запитів та інші функції сприяють ефективному використанню бази даних у геопросторових додатках.

Підтримка стандартів: PostgreSQL активно підтримує геопросторові стандарти, такі як Simple Features for SQL, що робить його сумісним із стандартами та іншими геопросторовими інструментами.

PostgreSQL потужний, гнучкий та відкритий інструмент, який відповідає вимогам багатьох проєктів у цій області.

Для певних задач геопросторового аналізу та візуалізації використано QGIS.

QGIS (раніше відомий як «Quantum GIS») — вільна крос-платформена геоінформаційна система (ГІС). QGIS є однією з найбільш функціональних і зручних настільних геоінформаційних систем та динамічно розвиваються.

Основним призначенням системи є обробка і аналіз просторових даних, підготовка різної картографічної продукції. Інтерфейс QGIS побудований на базі бібліотеки Qt. Пакет має гнучку систему розширень, які можна створювати

на мовах C++ і Python. Підтримуються різноманітні векторні і растрові формати з ESRI Shapefile і GeoTIFF включно.

GIS QGIS дозволяє користувачам створювати карти з безліччю шарів, використовуючи різні картографічні проєкції. Карти можуть бути зібрані в різні формати і використовуватися з різною метою. У системі QGIS карти можуть складатися з растрових або векторних шарів. Типовими для такого роду програмного забезпечення, векторні дані зберігаються як точка, лінія, полігон. Підтримуються різні види растрових зображень. Програмне забезпечення може виконувати геоприв'язку зображень[22].

QGIS є потужним інструментом геопросторового аналізу, який має безліч інструментів і плагінів.

QGIS є оптимальним варіантом для реалізації останнього етапу дослідження.

## **2.2 Концептуальна та функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.**

Розробка ГІС для моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області дозволить провести комплексну оцінку стану навколишнього середовища внаслідок порушення водопостачання та скорочення можливостей для зрошення сільськогосподарських угідь. Ці фактори вплинуть на стан рослинності та ґрунтів, моніторинг цих наслідків, сприятиме аналізу факторів і ступеня шкоди, завданої агрокультурному сектору регіону. Крім того, впровадження такої системи забезпечить загальне розуміння масштабів наслідків, спричинених зазначеними проблемами.

На сучасному етапі розвитку геоінформаційних технологій спостерігається зміна підходів до збору та обробки геопросторових даних: від картографічного методу до інформаційного. Раніше основним джерелом просторових даних були картографічні матеріали, створені на основі даних,

отриманих наземними та дистанційними методами. Завдяки стрімкому розвитку геоінформаційних систем (ГІС), GPS-технологій, фотограмметрії та методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), відбувається стрімкий перехід до інформаційного підходу в роботі з геопросторовими даними.

У цьому контексті бази геопросторових даних стають основним продуктом інформаційних технологій. Їх ключовими перевагами є:

- відсутність картографічних "спотворень" у моделях об'єктів;
- точне відображення об'єктів відповідно до первинних даних, отриманих під час зйомок за допомогою різних методів, зазначених вище.

Проектування баз геопросторових даних здійснюється у три етапи:

1. Концептуальний.
2. Логічний.
3. Фізичний

Концептуальний етап – на цьому етапі визначаються основні принципи та вимоги до структури бази даних. Розглядаються питання щодо взаємозв'язків між об'єктами геопросторових даних і формулюється загальна концепція бази, яка не залежить від конкретних технічних аспектів. Це абстрактний рівень, на якому створюється основа для майбутньої реалізації.

Логічний етап – передбачає розробку логічної моделі бази даних, що охоплює визначення таблиць, полів, зв'язків та інших елементів. Цей етап зосереджений на організації даних і взаємодії між ними на рівні бази даних, не враховуючи залежності від певної системи управління базою даних (СУБД). Логічна модель визначає, як дані будуть структуровані для подальшої роботи.

Фізичний етап – на цьому етапі концептуальні й логічні моделі адаптуються до конкретного програмного забезпечення СУБД. Визначаються технічні характеристики бази даних, такі як типи даних, індексація, оптимізація запитів та інші аспекти, що залежать від обраного програмного забезпечення та обладнання. Фізичний етап визначає спосіб зберігання та обробки геопросторових даних у заданому середовищі.

Завдання геоінформаційної системи для моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області можна класифікувати за основними функціональними напрямками:

- збирання даних про досліджувану територію за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ);
- базова обробка та класифікація даних;
- створення тематичних наборів інформації;
- просторове інтегрування та узагальнення даних;
- обробка та уніфікація інформації у єдиних форматах;
- створення та підтримка банку геопросторових даних;
- моніторинг, аналіз та моделювання процесів і явищ.

### ***2.2.1 Концептуальна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.***

Реалізація та координація всіх завдань базується на розробці інтегрованого банку геопросторових даних, створеного для ГІС-моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр. (рис. 2.4).

Цей банк геопросторових даних включає такі основні компоненти:

1. Цифрова модель гідрографічної мережі;
  - 1) Цифрова модель просторового розподілу води за ознакою її забруднення
  - 2) Цифрова модель просторового розподілу та рівня цвітіння води
2. Цифрова модель рослинного покриву;
  - 1) Цифрова модель рівня вмісту води у рослинності
3. Цифрова модель ґрунтового покриву;
4. Цифрова модель АТУ;
5. Цифрова модель області дослідження;
6. База даних області дослідження;
7. Моніторингові тематичні та ситуаційні моделі.

ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області виконує такі основні функції: забезпечення роботи єдиної підсистеми збору та накопичення даних за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на території дослідження; забезпечення функціонування підсистеми обробки отриманих даних; підтримка інтегрованого банку геопросторових даних; робота з цифровими картографічними матеріалами; моделювання та аналіз стану природних комплексів за допомогою ГІС; формування запитів до баз даних, створення звітів і тематичних карт.

Таким чином, створена система ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області функціонує наступним чином: здійснюється збір даних про стан, морфологічні та інші властивості гідрографічних об'єктів, рослинного та ґрунтового покриву за допомогою методів спектрального аналізу оптичного діапазону ДЗЗ; отримані дані інтегруються просторово, обробляються та уніфікуються у єдиних форматах; створюється і підтримується банк геопросторових даних. На основі цих даних виконуються моделювання, проєктування, а також формування звітів і створення тематичних карт та геозображень.

Всі зазначені завдання та їх взаємодія ґрунтуються на функціонуванні інтегрованого банку геопросторових даних, який є ключовим елементом ГІС для моніторингу природних комплексів. У цьому банку накопичуються як початкові дані, так і результати моделювання та проєктування, що забезпечує цілісність і ефективність роботи системи.

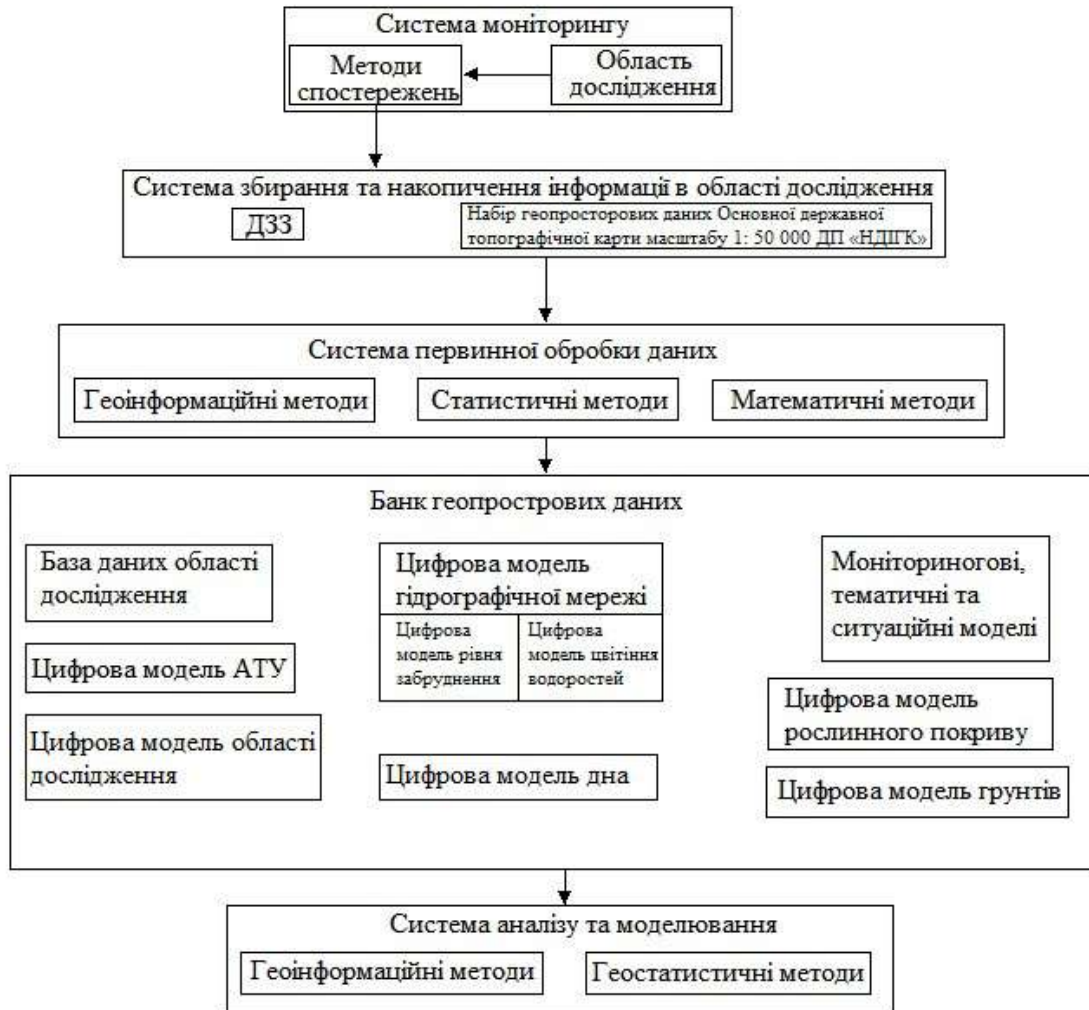


Рис.2.4 Концептуальна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області

Інтеграція даних спостереження зони дослідження, здійснюваного різними суб'єктами моніторингової діяльності, базується на використанні спільної системи координат і уніфікованого базового набору геопросторових даних. Процес інтегрування реалізується через застосування каталогів і баз метаданих ("дані про дані"), які супроводжують кожен топографічний чи екологічний об'єкт, що включається до БНГД. Кожен об'єкт обов'язково ідентифікується шляхом присвоєння унікального ідентифікаційного коду (ID) та назви.

Каталоги та бази метаданих виконують роль сховищ спеціалізованих наборів даних, у яких міститься інформація про структуру та характеристики

об'єктів БНГД, системи координат, картографічні проекції, точність визначення просторового положення, дату створення тощо.

Склад і структура метаданих в інфраструктурі геопросторових даних на різних рівнях визначаються міжнародним стандартом ISO 19115 "Географічна інформація. Метадані". Крім того, правила кодування та представлення цих метаданих з використанням формату XML регламентуються технічними вимогами, встановленими стандартом ISO 19139.

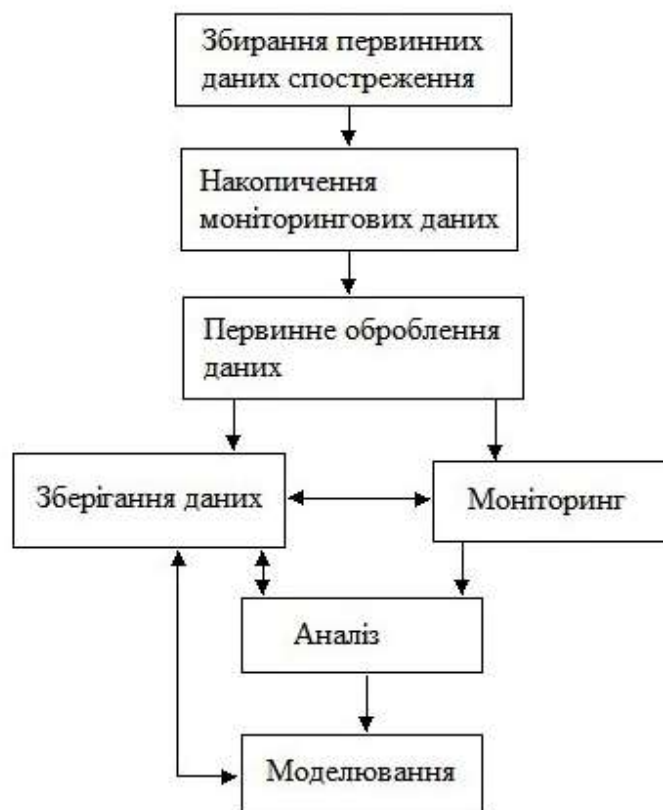


Рис.2.5. Концептуальна функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області

Геопросторова база даних була створена відповідно до стандарту ISO 19107 "Географічна інформація. Просторова схема" і представлена у формі UML-діаграми пакетів (рис. 2.6). У структурі бази геопросторових даних, призначеної для моніторингу природних комплексів, виділяються наступні основні складові: база нормативних даних, базовий набір даних, а також

реєстри цільових об'єктів. До останніх належать природні комплекси, об'єкти природоохоронного значення та елементи мережі спостереження за станом природних комплексів.

База нормативних даних включає законодавчі акти України, постанови Кабінету Міністрів України, нормативні документи, що регулюють діяльність суб'єктів моніторингу довкілля, а також міжнародні стандарти серії ДСТУ ISO 19100 "Географічна інформація/Геоматика".

Базовий набір даних містить цифрові картографічні бази даних (БЦКД), зокрема: БЦКД для територій областей у масштабі 1:100 000, БЦКД для районів, гідрографічних об'єктів України, територій громад, а також базу мультиспектральних зображень, отриманих засобами дистанційного зондування Землі.

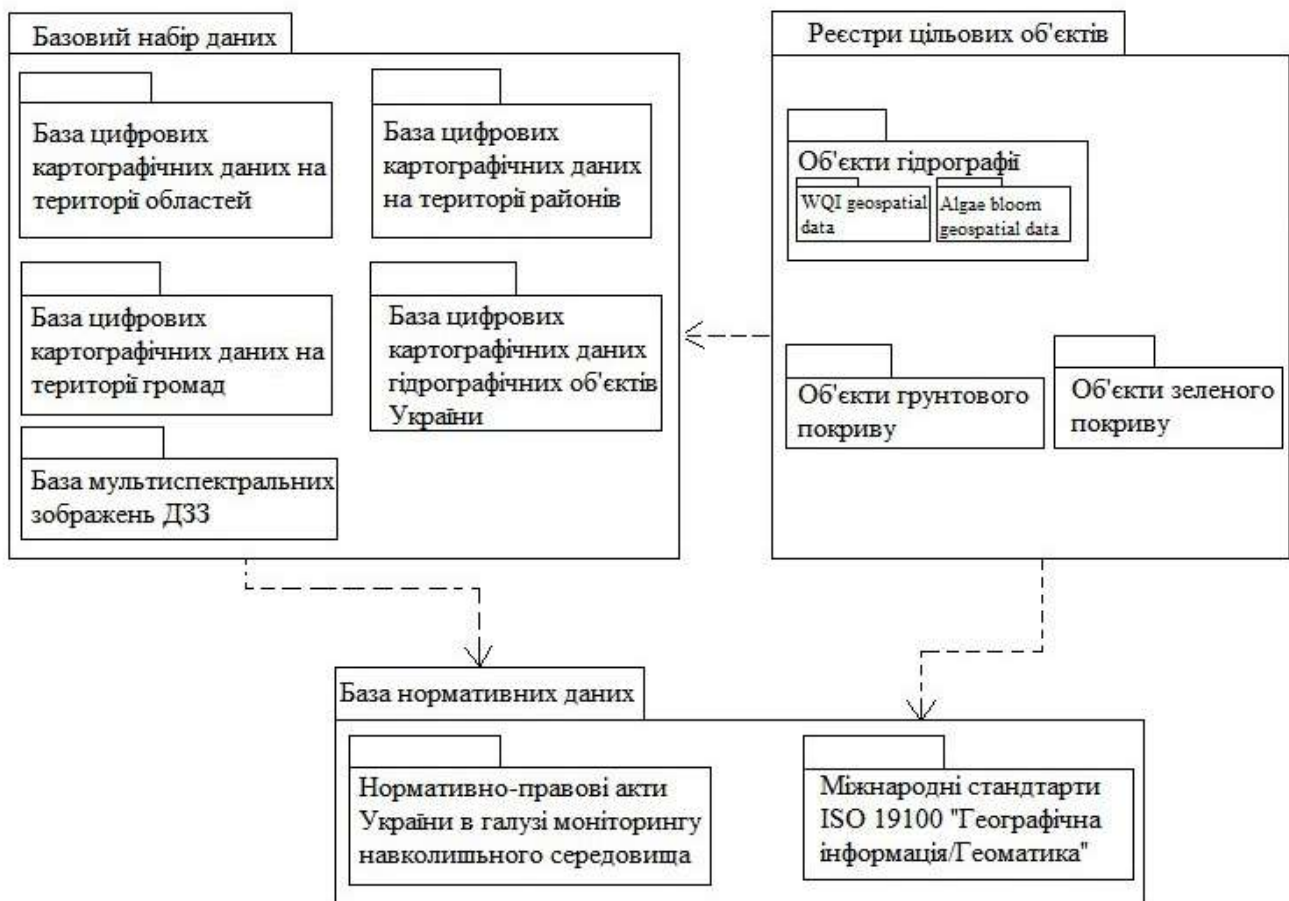


Рис.2.6 UML – діаграма пакетів структури бази геопросторових даних моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області

### ***2.2.2 Функціональна модель ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.***

Система ГІС моніторингу є системою, що забезпечує збір, зберігання, аналіз і візуалізацію геопросторових даних. Її розробка ґрунтується на таких основних принципах:

- Наукова обґрунтованість: використання перевірених методів збору даних, створення картографічних моделей і прогнозування.
- Сучасність даних: забезпечення своєчасного оновлення баз даних, особливо для об'єктів з динамічними характеристиками, таких як зрошувальні канали.
- Територіальна відповідність: адаптація до специфіки регіону, включаючи природні та соціально-економічні особливості.
- Ієрархічність: багаторівнева структура системи моніторингу, яка охоплює локальний, регіональний і національний рівні.
- Взаємодія даних: інтеграція наземних, дистанційних і підземних спостережень для узгодженості показників.

Результати моніторингу представляються у вигляді тематичних карт, діаграм та інших візуальних моделей. Це дозволяє ідентифікувати проблеми та прогнозувати розвиток явищ у просторі та часі.

*Загальні характеристики моделі.* Функціональна модель ГІС моніторингу для зрошувальної системи забезпечує такі функції:

Збір даних:

- Використання дистанційного зондування (наприклад, знімки Sentinel-2)

- Інтеграція даних польових обстежень і автоматичних сенсорів (глибини, рівня води, швидкості потоку).

Обробка та аналіз даних:

- Алгоритми оцінки стану каналів
  - 1) Просторовий розподіл поверхневих вод, русло каналів, модель дна
  - 2) Стан води, забруднення, цвітіння
- Алгоритми оцінки стану навколишнього середовища
  - 1) Стан ґрунтового покриву
  - 2) Стан рослинного покриву
- Прогнозні моделі, засновані на гідрологічних і метеорологічних даних.

Візуалізація результатів:

- Генерація тематичних карт стану системи.
- Інтерактивні онлайн-дашборди з доступом до актуальної інформації.

*Ключові компоненти:*

Блок збору даних: включає датчики, дрони, супутники, польові інспекції.

База даних: центральна реляційна база для зберігання та управління геопросторовими даними.

Аналітичний модуль: програмні засоби для обробки даних і генерації результатів.

Картографічний модуль: для створення інтерактивних і друкованих карт.

Модуль звітності: автоматизоване створення звітів для управління.

*Логіка функціонування:*

- Дані збираються в реальному часі або періодично;
- Потоки даних направляються до центральної бази;
- Дані проходять обробку, отримуються набір геопросторових даних;
- Дані проходять перевірку якості;
- Аналітичний модуль проводить розрахунки та аналіз;
- Генеруються тематичні карти, прогнози та звіти.

*Інтеграція стандартів:*

ISO 19115: для опису метаданих.

INSPIRE Directive: гармонізація просторових даних.

ДСТУ 3008:2015: стандарти оформлення документації.

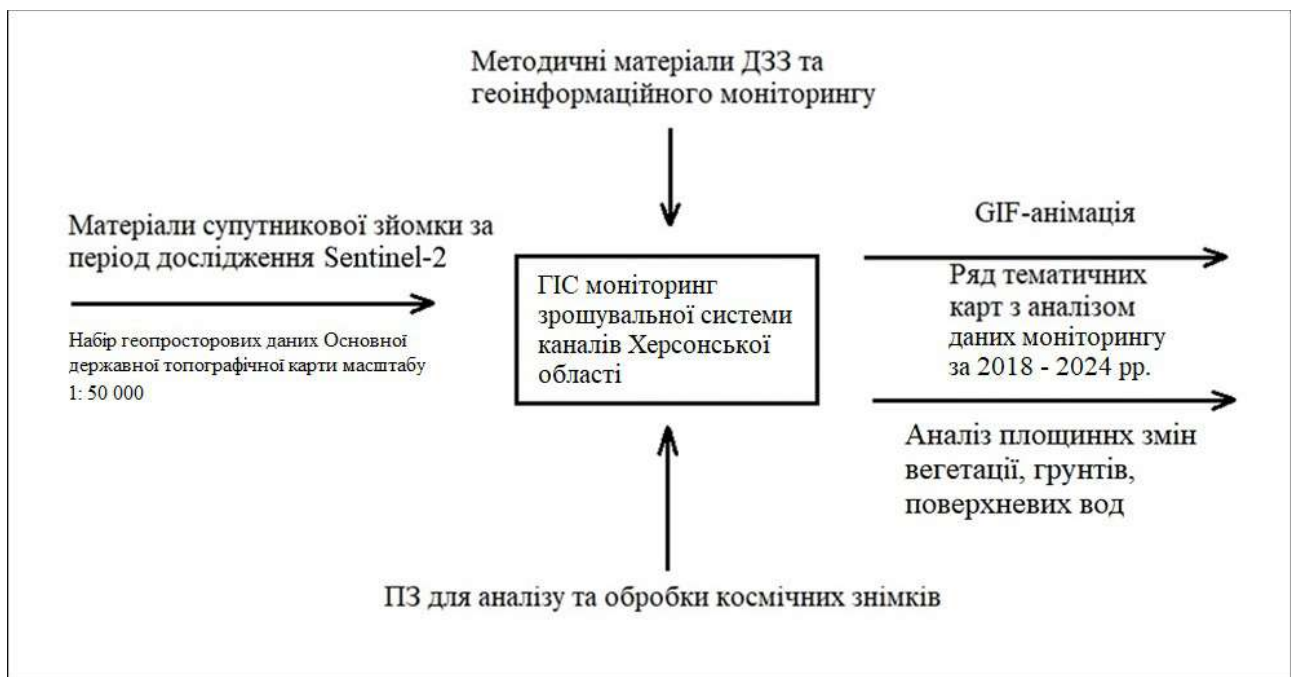
*Вимоги до системи:*

Технологічні: мінімум 16 ГБ ОЗП для серверної частини, підтримка PostgreSQL/PostGIS.

Дані: супутникові знімки, метеорологічні показники, параметри водотоків.

Правові: відповідність екологічним і земельним законам України.

Два рівні функціональної моделі представлені на рис 2.7 -2.8



*Рис.2.7 Функціональна модель геоінформаційного моніторингу. Рівень А0*

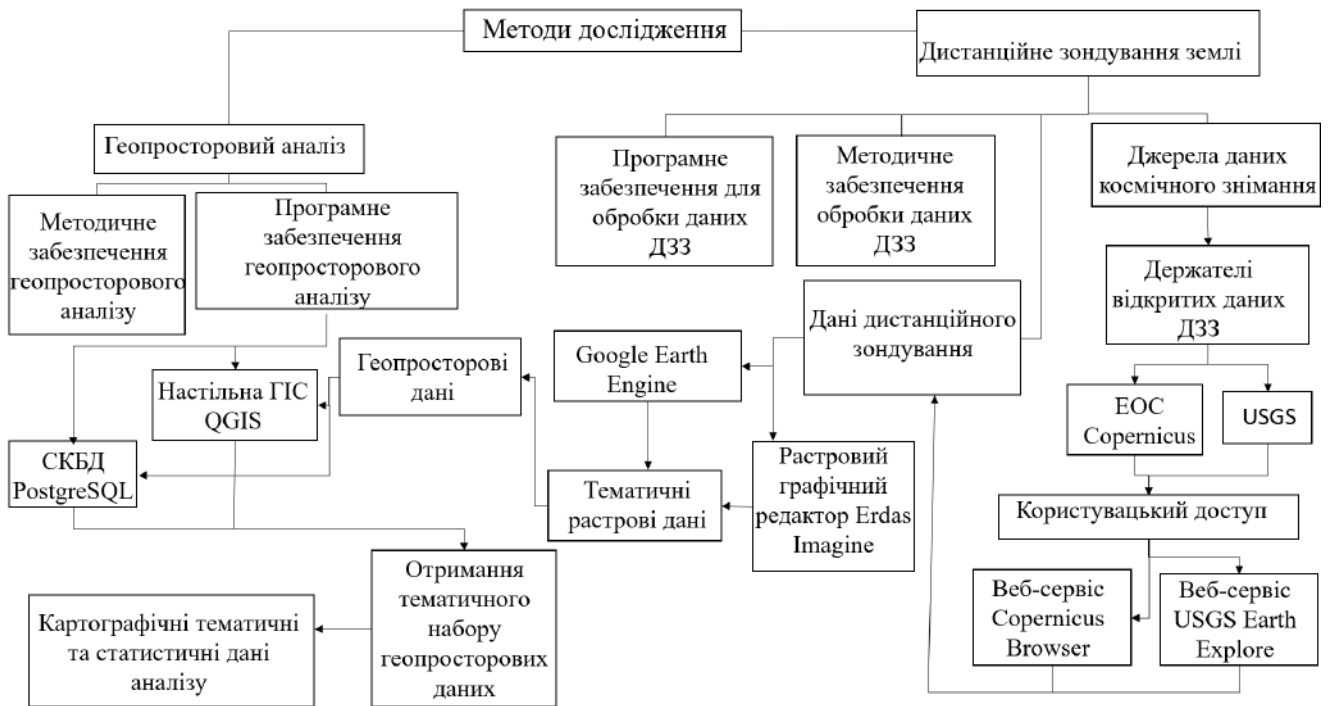


Рис.2.8 Функціональна модель геоінформаційного моніторингу. Рівень АІ

### 2.3 Створення бази геопросторових даних тематичного набору даних про зрошувальну системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.

Процес створення концептуальної схеми бази даних (БД) (Рис.2.9), що базується на концептуальній моделі даних, розпочинається зі стадії концептуального проєктування. У рамках цього етапу формується загальний опис даних, що дає змогу побудувати їх цілісну структуру. Концептуальна модель даних відображає загальну логіку даних, фокусуючи увагу на їхній структурі та взаємозв'язках.

Виділяють два основні підходи до моделювання даних у концептуальному проєктуванні: семантичні та об'єктні моделі. Семантичний підхід орієнтований на формування структурованих даних, де найбільш поширеним варіантом є модель "сутність-зв'язок" (Entity-Relationship, ER-модель). Ця модель включає сутності, зв'язки, атрибути, домени атрибутів та ключі, забезпечуючи опис логічної структури даних аналогічно до того, як блок-схеми описують алгоритми програми [23].

Натомість об'єктні моделі роблять акцент на поведінці даних та операціях з ними. У такому підході ключовим поняттям є об'єкт, який об'єднує стан (сукупність атрибутів) та поведінку (операції, специфічні для об'єкта). Удосконалення концептуального моделювання відображається у використанні розширених моделей (Extended Entity Relationship, EER-моделей), що поєднують елементи семантичного й об'єктного підходів [24].

ER-моделювання реалізує ієрархічний підхід, починаючи з визначення основних сутностей (entities) і зв'язків (relationships), а також їхніх атрибутів. Потім додаються обмеження, які стосуються сутностей, зв'язків і атрибутів, зокрема визначення потенційних і первинних ключів. Модель надає графічне представлення об'єктів і їхніх взаємозв'язків у БД, що спрощує розуміння структури та логіки даних [25].

Послідовність процесу ER-моделювання включає:

1. Визначення типів сутностей.
2. Опис типів зв'язків.
3. Формування атрибутів для сутностей і зв'язків.
4. Визначення ключів (первинних та потенційних).
5. Розширене моделювання.
6. Перевірку на надмірність.
7. Аналіз відповідності транзакціям користувачів [26].

Сутності в концептуальній моделі являють собою класи однотипних об'єктів із унікальними іменами. Кожен об'єкт, що відповідає сутності, характеризується набором атрибутів, які мають забезпечувати його унікальну ідентифікацію. Зв'язки між сутностями відображають їх взаємодію, зокрема, вони можуть бути бінарними (між двома сутностями), тернарними (трьома) або N-арними (між багатьма сутностями). Найчастіше використовуються бінарні зв'язки, які поділяються на такі типи:

- 1:1 (один до одного);
- 1:M (один до багатьох);

- N:M (багато до багатьох) [27].

Атрибути описують властивості сутностей, а їхні значення вибираються з певних множин (доменів), які включають усі допустимі варіанти для кожного атрибута [28].

У сфері геоінформаційних систем (ГІС) концептуальна модель бази геопросторових даних розробляється відповідно до національних стандартів. Для інвентаризації об'єктів руйнувань у Київській області така модель створена з урахуванням положень таких нормативних документів:

- ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних";
- ДСТУ 19131:2019 (ISO 19131:2007) "Географічна інформація. Специфікація геоінформаційного продукту";
- Комплекс стандартів СОУ "База топографічних даних";
- Редакційно-технічні вказівки зі створення цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 [29].

Каталог об'єктів і атрибутів у розробленій базі відповідає ДСТУ ISO 19110:2017 та ДСТУ 8774:2018. Він містить просторові схеми, правила цифрового опису об'єктів і конструкцію моделей. Інструмент OMT-G Designer забезпечив створення цієї концептуальної моделі, яка відповідає стандартам СОУ 71.12-37-949:2014 [30].

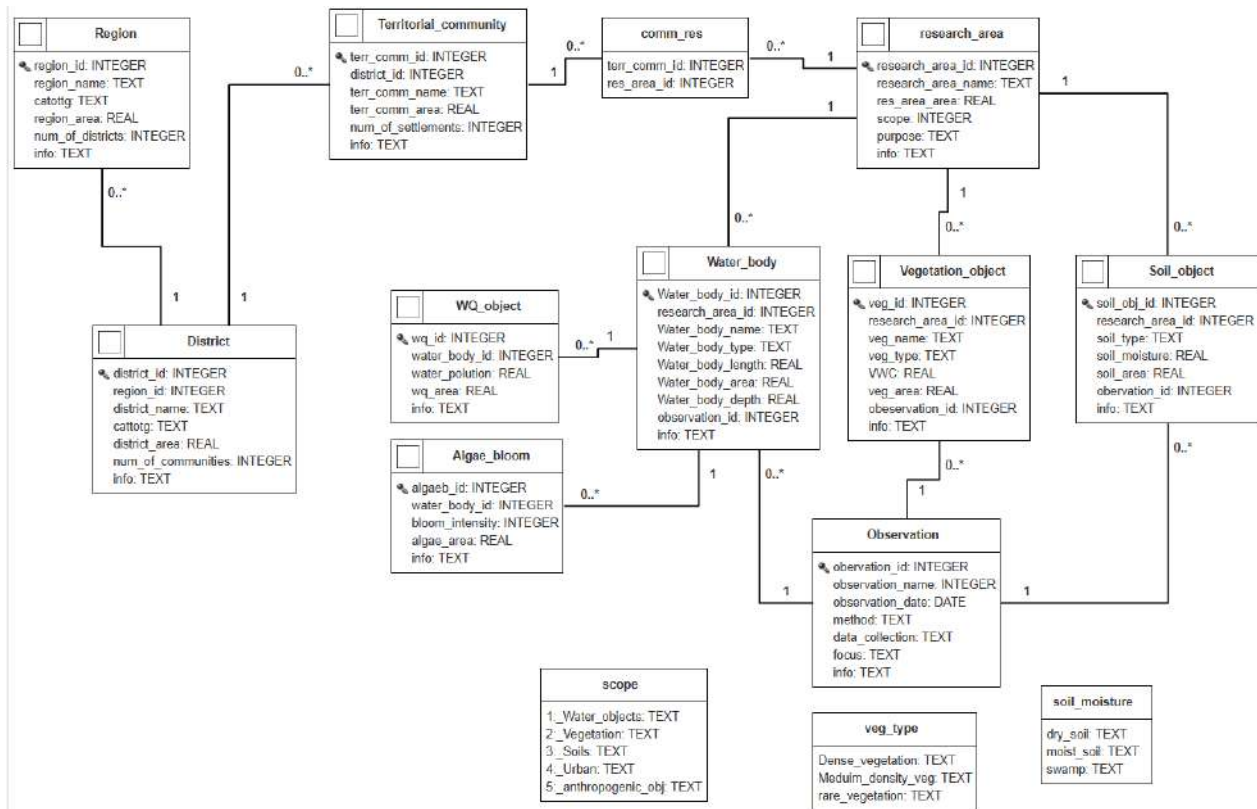


Рис.2.9 Концептуальна модель бази даних

Наступним етапом після створення концептуальної моделі даних є формування каталогу об'єктів і атрибутів, що відповідає визначеним концептуальним моделям. Це є необхідною передумовою для переходу до створення логічної моделі даних, а згодом і її реалізації через вибрану систему управління базами даних (СУБД) [31].

Каталог об'єктів, що описує геопросторові елементи зони дослідження наслідків підриву Каховської ГЕС, містить атрибути цих об'єктів, представлені через абстрактні моделі реального світу. Цей каталог функціонує як система класифікації для підтримки моніторингу. Завдяки йому забезпечується зрозуміле представлення абстрактних моделей для користувачів і комп'ютерних систем, що сприяє широкому розповсюдженню та використанню геопросторових даних. Крім того, це полегшує розподілене виробництво й інтеграцію цих даних у різноманітні аналітичні та інформаційні системи [32].

Каталог об'єктів природних комплексів і мереж спостереження, а також їх атрибутів, був розроблений відповідно до стандарту СОУ 742-

337395400011:2010 «Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів». Зазначений стандарт гармонізований із вимогами ДСТУ ISO 19110:2017 «Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів» [33]. Однією з основних особливостей цього каталогу є його наскрізний характер, який не залежить від рівня деталізації цифрового картографічного матеріалу конкретного масштабу.

У розробленому каталозі визначені групи об'єктів і типи цільових об'єктів, які можуть бути ідентифіковані незалежно від джерела даних. Атрибути об'єктів описують характеристики, що розкривають метадані та сутність кожного цільового об'єкта. Для уточнення ідентифікації об'єкта використовуються домени атрибутів, що додаються до його опису [34].

Каталог також забезпечує створення класифікаторів та правил цифрового опису природних комплексів і мереж спостереження в моніторингових базах даних. Його використання дозволяє формувати формати обміну цифровими екологічними даними, а також розробляти відповідні програмні засоби для їх створення, аналізу та інтерпретації. Класифікація об'єктів у каталозі ґрунтується на поділі за групами, типами цільових об'єктів, атрибутами, доменами та асоціаціями об'єктів відповідно до принципової схеми, встановленої ISO 19110 [35].

Для досягнення більшої узгодженості у структурі каталогу типи об'єктів розділено на 3 групи (Таблиця 1.6).

*Таблиця 1.6*

Перелік класифікаційних груп типів об'єктів каталогу

Код	Назва групи
01	Адміністративний поділ
02	Зона дослідження
03	Об'єкти дослідження
04	Предмет дослідження

Назва присвоєна кожній групі, а відповідним типам об'єктів визначені відповідні підрозділи. Код групи та порядковий номер типу об'єктів у межах

групи використані для формування кодів асоціацій і кодів атрибутів. Це гарантує унікальність зазначених кодів у рамках усього каталогу. Список типів об'єктів разом із їх ідентифікаторами, кодами та порядковими номерами наведено нижче в Таблиці 1.7

Таблиця 1.7

№ за каталогом	Назва типу	Ідентифікатор типу	Код типу
Адміністративний поділ			
01 1	Область	region	11 100 000
01 2	Район	district	11 200 000
01 3	Територіальна громада	territorial community	11 300 000
Зона дослідження			
02 1	Зона дослідження	research area	21 100 000
Об'єкти дослідження			
03 1	Вода	water body	31 100 000
03 2	Показник забруднення води	WQ object	31 200 000
03 3	Зони цвітіння	Algae bloom	31 300 000
03 4	Земельний покрив	soil object	31 400 000
03 5	Рослинність	vegetation object	31 500 000
Предмет дослідження			
04 2	Спостереження	Observation	41 100 000

Область – являє собою адміністративно-територіальну одиницю, що сформувалася в межах території України та характеризується визначеними історичними, економічними, екологічними, географічними й демографічними особливостями.

Район – це адміністративно-територіальна одиниця, чисельність населення якої складає щонайменше 150 тисяч осіб; він утворений з громад і входить до складу області.

Територіальна громада визначається як адміністративно-територіальна одиниця базового рівня, що включає один або кілька населених пунктів. Її межі встановлені згідно із законодавством і збігаються з межами сусідніх територіальних громад, забезпечуючи територіальну основу для функціонування органів місцевого самоврядування.

Зона дослідження – це площинний об'єкт із чітко окресленими межами, у межах якого здійснюється аналіз показників обраних компонентів природного середовища.

Спостереження – це клас, що містить дані про фіксацію, прив'язану до конкретної дати, включаючи причини спостереження та об'єкти, що підлягають аналізу. Він забезпечує функцію агрегування інформації про досліджувані об'єкти.

Земельний покрив – клас, що представляє ту частину поверхні водосховища, яка не належить до водного покриву. Він поділяється на два підкласи: «сухі» – повністю осушені ділянки без видимої рослинності, та «вологі» – поверхні з високим вмістом вологи, які також не містять видимої рослинності.

Вода – клас, що відображає ту частину території водосховища, яка однозначно ідентифікується як водна поверхня.

Показник забруднення води – це просторовий об'єкт, підклас води, який показує просторовий розподіл водного об'єкту за рівнем забрудненості.

Зона цвітіння – це просторовий об'єкт, підклас води, який показує зони цвітіння води.

Рослинність – клас, що характеризує ділянки, вкриті рослинними угрупованнями чи окремими фітоценозами певної території. Він поділяється за щільністю на три категорії: високу, середню та низьку.

Назва присвоєна кожному класу, а відповідним класам визначені відповідні атрибути, а атрибутам домени. Код та порядковий номер об'єкта та атрибуту у межах класу є унікальними і забезпечують однозначну ідентифікацію атрибута та класу. Це гарантує унікальність зазначених кодів у рамках усього каталогу. Список класів об'єктів та їх атрибутів, та доменів разом із їх ідентифікаторами, кодами та порядковими номерами наведено нижче в Таблиці 1.8

Таблиця 1.8

## Каталог об'єктів, та їх атрибутів

<b>Назва групи</b>	Адміністративний поділ				
<b>Назва типу</b>	<b>Область</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	region				
<b>Код типу</b>	0101				
<b>Визначення</b>	Одиниця АТУ				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>region_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010101
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>region_name</b>	Назва області				
Визначення	Назва області				
Тип даних	Varchar(50)	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010102
Домен	Набір символів			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>cattog</b>	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010103
Домен	Текстове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>region_area</b>	Площа області				
Визначення	Площа області у м <sup>2</sup>				
Тип даних	real	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010104
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	м <sup>2</sup>
<b>num_of_districts</b>	Кількість районів				
Визначення	Кількість районів				
Тип даних	integer	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010105
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>info</b>	Інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010106
Домен	Текстове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	010107
Домен	Полігон			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Назва типу</b>	<b>Район</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	district				
<b>Код типу</b>	0102				
<b>Визначення</b>	Одиниця АТУ				

<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>district_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	010201
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>region_id</b>	Ідентифікатор області				
Визначення	Ідентифікатор області у якому знаходиться район				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010202
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>district_name</b>	Назва району				
Визначення	Назва району				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	010203
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>cattog</b>	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010204
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>district_area</b>	Площа району				
Визначення	Площа району у м <sup>2</sup>				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	010105
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	м <sup>2</sup>
<b>num_of_communities</b>	Кількість територіальних громад				
Визначення	Кількість територіальних громад				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010106
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>info</b>	Інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	010107
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010208
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
<b>Назва типу</b>	Територіальна громада				
<b>Ідентифікатор типу</b>	community				
<b>Код типу</b>	0103				
<b>Визначення</b>	Одиниця АТУ				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>terr_comm_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	010301
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>district_id</b>	Ідентифікатор району				
Визначення	Ідентифікатор району у якому знаходиться територіальна громада				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010302

Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>terr_comm_name</b>	Назва територіальної громади				
Визначення	Назва територіальної громади				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	010303
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>cattog</b>	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010304
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>terr_com_area</b>	Площа територіальної громади				
Визначення	Площа територіальної громади у м <sup>2</sup>				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	010305
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	м <sup>2</sup>
<b>num_of_settlements</b>	Кількість поселень				
Визначення	Кількість поселень				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010306
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>info</b>	Інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	010307
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010308
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
<b>Назва групи</b>	Зона дослідження				
<b>Назва типу</b>	Зона дослідження				
<b>Ідентифікатор типу</b>	research area				
<b>Код типу</b>	201				
<b>Визначення</b>	Територія, у межах якої проводиться моніторинг показників				
	<b>Каталог атрибутів</b>				
<b>research_area_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	020101
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>research_area_name</b>	Назва території				
Визначення	Назва території дослідження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	020102
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>res_area_area</b>	Площа зони дослідження				
Визначення	Площа зони дослідження у м <sup>2</sup>				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	020103
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	м <sup>2</sup>
<b>scope</b>	Фокус дослідження				
Визначення	Фокус дослідження				

Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	020104
Домен	Набір текстових значень			Одиниця виміру	
<b>purpose</b>	Ціль дослідження				
Визначення	Ціль дослідження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	020105
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	
<b>info</b>	Інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	020306
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	020107
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
<b>Назва групи</b>	Об'єкти дослідження				
<b>Назва типу</b>	Вода				
<b>Ідентифікатор типу</b>	water body				
<b>Код типу</b>	0301				
<b>Визначення</b>	Водний покрив				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>water_body_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	030101
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>research_area_id</b>	Ідентифікатор зони дослідження				
Визначення	Ідентифікатор району у якій зоні дослідження знаходиться об'єкт				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030102
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>water_body_name</b>	Назва водного об'єкту				
Визначення	Назва водного об'єкту				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	030103
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	
<b>water_body_type</b>	Тип водного об'єкту				
Визначення	Тип водного об'єкту				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	030104
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	
<b>water_body_length</b>	Довжина водного об'єкту				
Визначення	Рівень цвітіння води				
Тип даних	Real	Статус	додатковий	Код	030105
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>water_body_area</b>	Площа водного об'єкту				
Визначення	Площа водного об'єкту				
Тип даних	Real	Статус	додатковий	Код	030106
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>water_body_depth</b>	Глибина водного об'єкту				
Визначення	Середня глибина водного об'єкту				

Тип даних	Real	Статус	додатковий	Код	030107
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>observation_id</b>	Ідентифікатор спостереження				
Визначення	Спостереження яким отримано цей гепоростровий об'єкт				
Тип даних	integer	Статус	Додатковий	Код	030108
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>info</b>	Інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	030109
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	030110
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
<b>Назва типу</b>	Показник забруднення води				
<b>Ідентифікатор типу</b>	wq object				
<b>Код типу</b>	0302				
<b>Визначення</b>	Просторовий розподіл води за показником забруднення				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>wq_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030201
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	
<b>water_body_id</b>	Ідентифікатор водного об'єкта				
Визначення	До якого водного об'єкту відноситься показник				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030202
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	
<b>water_polution</b>	Рівень забруднення				
Визначення	Кількісний показник забруднення				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	030203
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	
<b>wq_area</b>	Площа забруднення				
Визначення	Площа забруднення				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	030204
Домен	Числові значення				
<b>info</b>	Додаткова інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	030205
Домен	Текстові значення				
<b>Назва типу</b>	Зона цвітіння води				
<b>Ідентифікатор типу</b>	algae bloom				
<b>Код типу</b>	0303				
<b>Визначення</b>	Зона цвітіння води				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>algaeb_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030301
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	

<b>water_body_id</b>	Ідентифікатор водного об'єкта				
Визначення	До якого водного об'єкту відноситься зона				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030302
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	
<b>bloom_intensity</b>	Рівень забруднення				
Визначення	Кількісний показник цвітіння				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	030303
Домен	Числові значення			Одиниця виміру	
<b>algae_area</b>	Площа цвітіння				
Визначення	Площа цвітіння				
Тип даних	real	Статус	Основний	Код	030304
Домен	Числові значення				
<b>info</b>	Додаткова інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	030305
Домен	Текстові значення				
<b>Назва типу</b>	Земля				
<b>Ідентифікатор типу</b>	soil object				
<b>Код типу</b>	0304				
<b>Визначення</b>	Повнісю сухий та вологий земельний покрив				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>soil_obj_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	030401
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>research_area_id</b>	Ідентифікатор зони дослідження				
Визначення	Ідентифікатор району у якій зоні дослідження знаходиться об'єкт				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	030402
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>soil_type</b>	Покриття				
Визначення	Тип ґрунтового покриття землі				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	додатковий	Код	030403
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
<b>soil_moisture</b>	Рівень вологості				
Визначення	Поділяє ґрунт на умовні класи залежно від вологості				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	030404
Домен	'moist', 'dry'			Одиниця виміру	-
<b>soil_area</b>	Площа земельного об'єкту				
Визначення	Площа земельного об'єкту				
Тип даних	Real	Статус	додатковий	Код	030405
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>observation_id</b>	Зона				
Визначення	Ідентифікатор території моніторингу у межах якої збиралися дані				
Тип даних	inetger	Статус	Додатковий	Код	030406
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
<b>info</b>	Додаткова інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	Статус	Основний	Код	030407

Домен	Текстові значення				
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030208
Домен	Полігон			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>Назва типу</b>	<b>Рослинність</b>				
<b>Ідентифікатор типу</b>	vegetation data				
<b>Код типу</b>	0305				
<b>Визначення</b>	Рослинний покрив високої, середньої та низької щільності				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>veg_id</b>	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030501
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>research_area_id</b>	Ідентифікатор зони дослідження				
Визначення	Ідентифікатор району у якій зоні дослідження знаходиться об'єкт				
Тип даних	integer	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030502
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>veg_name</b>	Назва об'єкту				
Визначення	Назва об'єкту				
Тип даних	Varchar(50)	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030503
Домен	Набір символів			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>veg_type</b>	Тип рослинності				
Визначення	Тип рослинності				
Тип даних	Varchar(50)	<b>Статус</b>	додатковий	<b>Код</b>	030504
Домен	Текстове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>vwc</b>	Вміст води				
Визначення	Вміст води в рослинності				
Тип даних	real	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030505
Домен	'числові значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>veg_area</b>	Площа рослинного покриву				
Визначення	Площа рослинного покриву				
Тип даних	Real	<b>Статус</b>	додатковий	<b>Код</b>	030506
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>observation_id</b>	Зона				
Визначення	Ідентифікатор території моніторингу у межах якої збиралися дані				
Тип даних	inetger	<b>Статус</b>	Додатковий	<b>Код</b>	030507
Домен	Числове значення			<b>Одиниця виміру</b>	-
<b>info</b>	Додаткова інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	text	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030508
Домен	Текстові значення				
<b>Geom</b>	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	<b>Статус</b>	Основний	<b>Код</b>	030509
Домен	Полігон			<b>Одиниця виміру</b>	-

<b>Назва групи</b>	Предмет дослідження				
<b>Назва типу</b>	Спостереження				
<b>Ідентифікатор типу</b>	Observation				
<b>Код типу</b>	0401				
<b>Визначення</b>	Спостереження за показниками водосховища у визначену дату				
<b>Каталог атрибутів</b>					
<b>observation_id</b>	Ідентифікатор спостереження				
Визначення	Унікальний ідентифікатор спостереження				
Тип даних	Date	Статус	Ключовий	Код	040101
Домен	Числовий			Одиниця виміру	-
<b>observation_name</b>	Назва оспостереження				
Визначення	Назва оспостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	040102
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>observation_date</b>	Дата				
Визначення	Дата проведення спостереження				
Тип даних	Date	Статус	Основний	Код	040103
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
<b>method</b>	Метод спостереження				
Визначення	Метод спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	040104
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>data_collection</b>	Дані використані для постереження				
Визначення	Дані використані для постереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	040105
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>focus</b>	Предмет				
Визначення	Предмет спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	040106
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
<b>info</b>	Додаткова інформація				
Визначення	Додаткова інформація				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	040107
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-



### 3.1 Реалізація фізичної моделі БГД у середовищі PostgreSQL/PostGIS

Реалізовано БГД ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів (Рис.3.0) було у СКБД PostgreSQL із розширенням POSTGIS. Для реалізації було виконано наступний SQL код:

```
-- Переконаємося, що розширення PostGIS встановлено
CREATE EXTENSION IF NOT EXISTS postgis;

-- Домени
-- Визначаємо домен для атрибута score (з масивом)
CREATE DOMAIN score_domain AS TEXT
    CHECK (VALUE IN ('Water_objects', 'Vegetation', 'Soils', 'Urban',
'Anthropogenic_obj'));

-- Визначаємо домен для атрибута veg_type (з масивом)
CREATE DOMAIN veg_type_domain AS TEXT
    CHECK (VALUE IN ('Dense_vegetation', 'Medium_density_veg',
'Reare_vegetation'));

-- Визначаємо домен для атрибута soil_moisture (з масивом)
CREATE DOMAIN soil_moisture_domain AS TEXT
    CHECK (VALUE IN ('Dry_soil', 'Moist_soil', 'Swamp'));

-- Таблиця Region
CREATE TABLE Region (
    region_id SERIAL PRIMARY KEY,
    region_name TEXT NOT NULL,
    catottg VARCHAR(50),
    region_area REAL,
```

```
num_of_districts INTEGER,
info TEXT,
    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326) -- Геометрія типу
MULTIPOLYGON у системі координат WGS 84
);

-- Таблиця District
CREATE TABLE District (
    district_id SERIAL PRIMARY KEY,
    region_id INTEGER REFERENCES Region(region_id) ON DELETE
CASCADE,
    district_name TEXT NOT NULL,
    cattotg VARCHAR(50),
    district_area REAL,
    num_of_communities INTEGER,
    info TEXT,
    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326) -- Геометрія типу
MULTIPOLYGON
);

-- Таблиця Territorial_community
CREATE TABLE Territorial_community (
    terr_comm_id SERIAL PRIMARY KEY,
    district_id INTEGER REFERENCES District(district_id) ON DELETE
CASCADE,
    terr_comm_name VARCHAR(50) NOT NULL,
    catottg VARCHAR(50),
    terr_comm_area REAL,
    num_of_settlements INTEGER,
```

```

info TEXT,
    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326) -- Геометрия типа
MULTIPOLYGON
);

-- Таблица Research_area
CREATE TABLE Research_area (
    research_area_id SERIAL PRIMARY KEY,
    research_area_name TEXT NOT NULL,
    res_area_area REAL,
    scope scope_domain[], -- Використовуємо домен з масивом
    purpose TEXT,
    info TEXT,
    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица Water_body
CREATE TABLE Water_body (
    water_body_id SERIAL PRIMARY KEY,
    research_area_id INTEGER REFERENCES
Research_area(research_area_id) ON DELETE CASCADE,
    water_body_name VARCHAR(50),
    water_body_type VARCHAR(50),
    water_body_length REAL,
    water_body_area REAL,
    water_body_depth REAL,
    observation_id INTEGER REFERENCES Observation(observation_id) ON
DELETE SET NULL,
    info TEXT,

```

```

geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица Vegetation_object
CREATE TABLE Vegetation_object (
  veg_id SERIAL PRIMARY KEY,
                research_area_id    INTEGER    REFERENCES
Research_area(research_area_id) ON DELETE CASCADE,
  veg_name VARCHAR(50) NOT NULL,
  veg_type veg_type_domain[], -- Используем домен с массивом
  VWC REAL,
  veg_area REAL,
  observation_id INTEGER REFERENCES Observation(observation_id) ON
DELETE SET NULL,
  info TEXT,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица Soil_object
CREATE TABLE Soil_object (
  soil_obj_id SERIAL PRIMARY KEY,
                research_area_id    INTEGER    REFERENCES
Research_area(research_area_id) ON DELETE CASCADE,
  soil_type VARCHAR(50) NOT NULL,
  soil_moisture soil_moisture_domain[], -- Используем домен с массивом
  soil_area REAL,
  observation_id INTEGER REFERENCES Observation(observation_id) ON
DELETE SET NULL,
  info TEXT,

```

```
geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица WQ_object
CREATE TABLE WQ_object (
  wq_id SERIAL PRIMARY KEY,
  water_body_id INTEGER REFERENCES Water_body(water_body_id)
ON DELETE CASCADE,
  water_polution REAL,
  wq_area REAL,
  info TEXT,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица Algae_bloom
CREATE TABLE Algae_bloom (
  algaeb_id SERIAL PRIMARY KEY,
  water_body_id INTEGER REFERENCES Water_body(water_body_id)
ON DELETE CASCADE,
  bloom_intensity INTEGER,
  algae_area REAL,
  info TEXT,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 4326)
);

-- Таблица Observation
CREATE TABLE Observation (
  observation_id SERIAL PRIMARY KEY,
  observation_name TEXT,
```

```

observation_date DATE,
method VARCHAR(50),
data_collection VARCHAR(50),
focus VARCHAR(50),
info TEXT
);

-- Таблиця для зв'язку територіальних громад і зон дослідження
CREATE TABLE Comm_Res (
                terr_comm_id    INTEGER    REFERENCES
Territorial_community(terr_comm_id) ON DELETE CASCADE,
                res_area_id    INTEGER    REFERENCES Research_area(research_area_id)
ON DELETE CASCADE,
                PRIMARY KEY (terr_comm_id, res_area_id)
);

-- Додаємо просторові індекси
CREATE INDEX idx_region_geom ON Region USING GIST (geom);
CREATE INDEX idx_district_geom ON District USING GIST (geom);
CREATE INDEX idx_terr_comm_geom ON Territorial_community USING
GIST (geom);
CREATE INDEX idx_research_area_geom ON Research_area USING GIST
(geom);
CREATE INDEX idx_water_body_geom ON Water_body USING GIST
(geom);
CREATE INDEX idx_vegetation_object_geom ON Vegetation_object
USING GIST (geom);
CREATE INDEX idx_soil_object_geom ON Soil_object USING GIST
(geom);

```

```

CREATE INDEX idx_wq_object_geom ON WQ_object USING GIST
(geometry);
CREATE INDEX idx_algae_bloom_geom ON Algae_bloom USING GIST
(geometry);

```

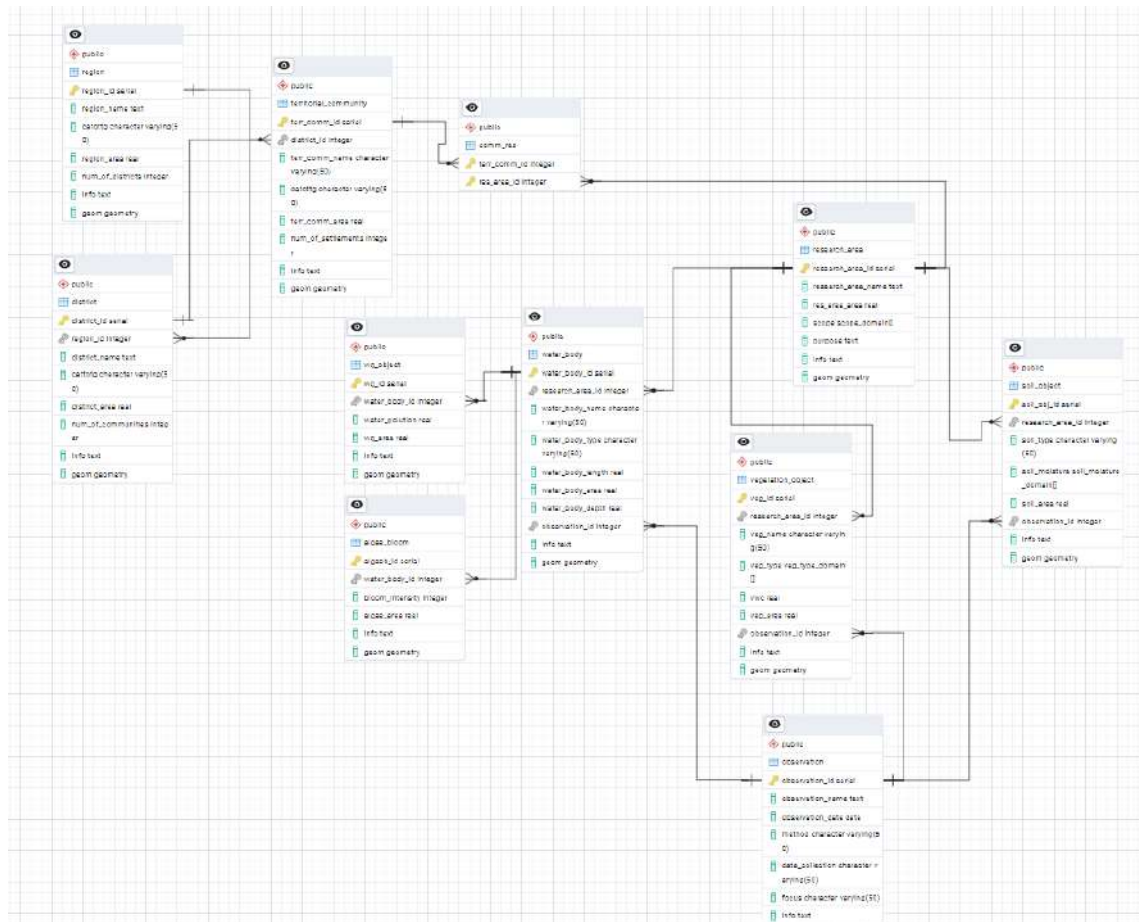


Рис.3.0 Фізична модель бази даних

### 3.2 Попереднє оброблення даних дистанційного зондування

**Обмеження виявлені на етапі реалізації:**

- 1) На 2018 рік у Google Earth Engine відсутня одна полоса, у будь якій колекції Sentinel-2;

2) Проведення класифікації на зону дослідження має обмеження для кількості зразків класифікації, викликана лімітом виділеної пам'яті для користувача Google Earth Engine.

3) Проведення класифікації, та обробки растрових даних займає дуже багато часу, це обмеження викликає потужність ПК користувача.

У зв'язку з цими обмеженнями, було прийнято рішення почати дослідження із 2019 року (1), було пропущено 2020 і 2021 рік, оскільки вони не надають виправданої різноманітності даних, порівняно із 2019 і 2022. (3)

Дослідження було проведено для 2019, 2022, 2023 і 2024 роках, що надає повну інформацію про тенденції змін, у зв'язку із підривом Каховської ГЕС.

У зв'язку із (2) ґрунтовий покрив і поверхневі води були обмежені класами під час класифікації растру:

- 1) Water\_body – усі поверхневі води, що зафіксував сенсор;
- 2) Dry\_soil – ґрунти, страждають від засухи;
- 3) Moist\_soil – ґрунти із нормальним, та високим вмістом вологи;
- 4) Dense\_vegetation – щільна рослинність;
- 5) Medium\_density\_veg – рослинність середньої щільності;
- 6) Rare\_vegetation – рідка рослинність;
- 7) Roads – дороги.

Актуальність класу (7) зумовлена тим, що деякі дорожні покриття мають схожі спектральні властивості із водою, тому слід їх виділяти, аби уникнути помилок класифікації.

У процесі дослідження було знехтувано забудованою територією як класом, оскільки її виділення, потребує використання великої кількості зразків, у протилежному випадку ми маємо багато помилок класифікації, через обмеження (2) ця умова не може виконуватися. Так само, загалом це невеликі поселення, із ділянками вкритими рослинністю, а самі будинки, здебільшого, не займають

більше 1-2 пікселей зображення, оскільки роздільна здатність 10 метрів, тому у масштабах дослідження це не викликає значних спотворень інформації.

Оскільки проведення класифікації, та обробки растрових даних займає дуже багато часу, через потужність ПК користувача, знімки також було підібрано автоматично через Google Earth Engine.

Для кожного року був вибраний період від 06.01 до 08.31, та створена мозаїка, яка має середнє значення пікселя (.median – медіана)

**Дослідження виконується в рамках області дослідження research\_area (Рис.2.9.1) із площею 12084,37 км<sup>2</sup> (Рис.2.9.2)**



Рис.2.9.1 Область дослідження

research\_area\_9859 — объектов всего: 1, отфильтровано: 1, выбрано: 1

id	area
1	12084,378870

Рис.2.9.2 Площа області дослідження

Оскільки дані колекції Sentinel 2 L-2, як згадувалось в попередніх розділах, мають усі необхідні корекції, орторектифікацію, і надають дані відображення земної поверхні (Surface Reflectance) оброблення у дослідженні обмежуються лише комбінацією каналів для створення мультиспектральних зображень, та створенням мозаїки із цих зображень.

Це реалізується за допомогою Google Earth Engine – хмарної платформа геопросторового аналізу, яка дозволяє користувачам візуалізувати та аналізувати супутникові знімки нашої планети.

Код для створення мозаїки на певний період представлено нижче (Таблиця 1.9):

*Таблиця 1.9*

*Код створення мозаїки*

```
// Параметри: дати, shapfile
var startDate = '2024-06-01';
var endDate = '2024-08-31';
var region = ee.FeatureCollection("projects/ee-olexiyrodch/assets/research_area_2");

// Фільтрація даних Sentinel-2
var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
  .filterBounds(region)
  .filterDate(startDate, endDate)
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))
  .map(function(image) {
    return image.clip(region);
  });

// Створення мозаїки
var mosaic = s2.median();
var bandsscale = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B11', 'B12'];
var scaled = mosaic.select(bandsscale).multiply(0.0001); // DN -> Reflectance (0-1)
var mosaic = mosaic.addBands(scaled, null, true);
```

### 3.3 Класифікація зображень, застосування індексів отримання растрових класифікованих тематичних шарів

Класифікація зображень, із застосуванням індексів проводилася у GEE за таким алгоритмом:

- 1) Після створення мозаїки за визначений період для кожного року, до них було застосовано обрані в проекті да додаткові спектральні індекси;
- 2) Створено класи об'єктів, які нададуть інформацію, яка наповнить реалізовану БГД ;
- 3) Були нанесені зразки класів на растрове зображення;
- 4) Далі було застосовано тренувальні алгоритми класифікації, обрано метод класифікації.;
- 5) Проведена класифікація зображень;
- 6) Підраховано похибки та експортовано результати.

#### 3.3.1 Реалізація спектральних індексів

Представлено код на JavaScript яким було реалізовано застосування спектральних індексів (Таблиця 2.0):

*Таблиця 2.0*

*Застосування спектральних індексів*

```
// Індeksi
var WI_2015 = mosaic.expression(
  '1.7204 + 171 * Green + 3 * Red - 70 * NIR - 45 * SWIR1 - 71 * SWIR2', {
    Green: mosaic.select('B3'),
    Red: mosaic.select('B4'),
    NIR: mosaic.select('B8'),
    SWIR1: mosaic.select('B11'),
    SWIR2: mosaic.select('B12')
  }).rename('WI_2015');
```

```

var AWEI_sh = mosaic.expression(
  'Blue + 2.5 * Green - 1.5 * (NIR + SWIR1) - 0.25 * SWIR2', {
    Blue: mosaic.select('B2'),
    Green: mosaic.select('B3'),
    NIR: mosaic.select('B8'),
    SWIR1: mosaic.select('B11'),
    SWIR2: mosaic.select('B12')
  }).rename('AWEI_sh');

var MNDWI = mosaic.normalizedDifference(['B3', 'B12']).rename('MNDWI');
var NDVI = mosaic.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');
var ARVI = mosaic.expression(
  '(NIR - (2 * RED) + BLUE) / (NIR + (2 * RED) + BLUE)', {
    NIR: mosaic.select('B8'),
    RED: mosaic.select('B4'),
    BLUE: mosaic.select('B2')
  }).rename('ARVI');
var NDMI = mosaic.normalizedDifference(['B8', 'B11']).rename('NDMI');
var NDBSI = mosaic.expression(
  '((RED + SWIR) - (NIR + BLUE)) / ((RED + SWIR) + (NIR + BLUE))', {
    RED: mosaic.select('B4'),
    SWIR: mosaic.select('B11'),
    NIR: mosaic.select('B8'),
    BLUE: mosaic.select('B2')
  }).rename('NDBSI');
var VSDI = mosaic.expression(
  '1 - ((RSWIR2 - RBlue) + (RRed - RBlue))', {
    RSWIR2: mosaic.select('B12'),
    RBlue: mosaic.select('B2'),
    RRed: mosaic.select('B4')
  }).rename('VSDI');
var ABDI = mosaic.expression(
  '(RE2 - Red - (NIRn - Red) * (CW_RE2 - CW_Red) / (CW_NIRn - CW_Red)) - (Red -
0.5 * Green)', {

```

```

'RE2': mosaic.select('B6'), // Red Edge 2
'NIRn': mosaic.select('B9'), // Narrow NIR
'Red': mosaic.select('B4'),
'Green': mosaic.select('B3'),
'CW_RE2': 740, // Central wavelength for Red Edge 2 in nm
'CW_NIRn': 865, // Central wavelength for Narrow NIR in nm
'CW_Red': 665 // Central wavelength for Red in nm
}).rename('ABDI')

// Відображенні мозаїки й усіх індексів
Map.centerObject(region, 10);
Map.addLayer(mosaic, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000}, 'Мозаика');
Map.addLayer(WI_2015, {min: -1, max: 1}, 'WI_2015');
Map.addLayer(AWEI_sh, {min: -1, max: 1}, 'AWEI_sh');
Map.addLayer(MNDWI, {}, 'MNDWI');
Map.addLayer(NDVI, {}, 'NDVI');
Map.addLayer(ARVI, {}, 'ARVI');
Map.addLayer(NDMI, {}, 'NDMI');
Map.addLayer(NDBSI, {}, 'NDBSI');
Map.addLayer(VSDI, {}, 'VSDI');
Map.addLayer(ABDI, {}, 'ABDI');

```

### **Приклади застосування індексів для класифікації:**

Індекс посухи у видимому та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах для моніторингу вологості ґрунту та рослинності VSDI при стилізації палети дає наглядну інформацію про стан вологості ґрунтів, та дає змогу визначити посушливі ґрунти (Рис.3.0)

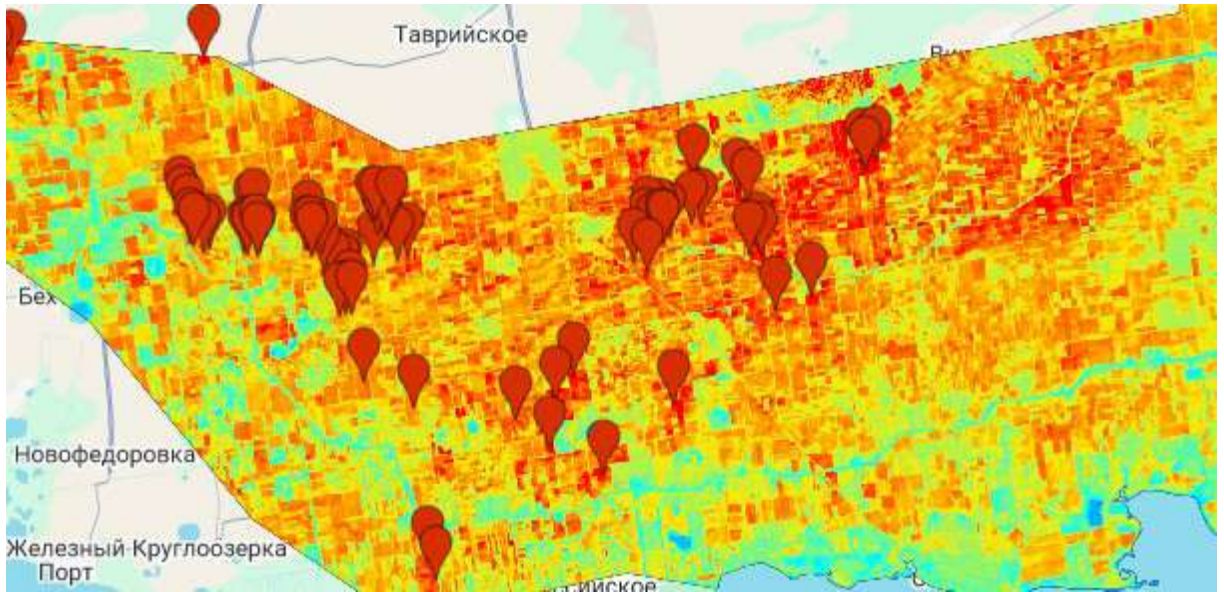


Рис.3.0 Застосування індексу VSDI

Атмосферостійкий вегетаційний індекс ARVI дає змогу відрізнити рослинність різної щільності та ґрунти (Рис.3.1)



Рис.3.2 Застосування індексу ARVI

Автоматизований індекс виділення води у затінених районах AWEInsh має дуже високу якість виділення води(Рис.3.3)

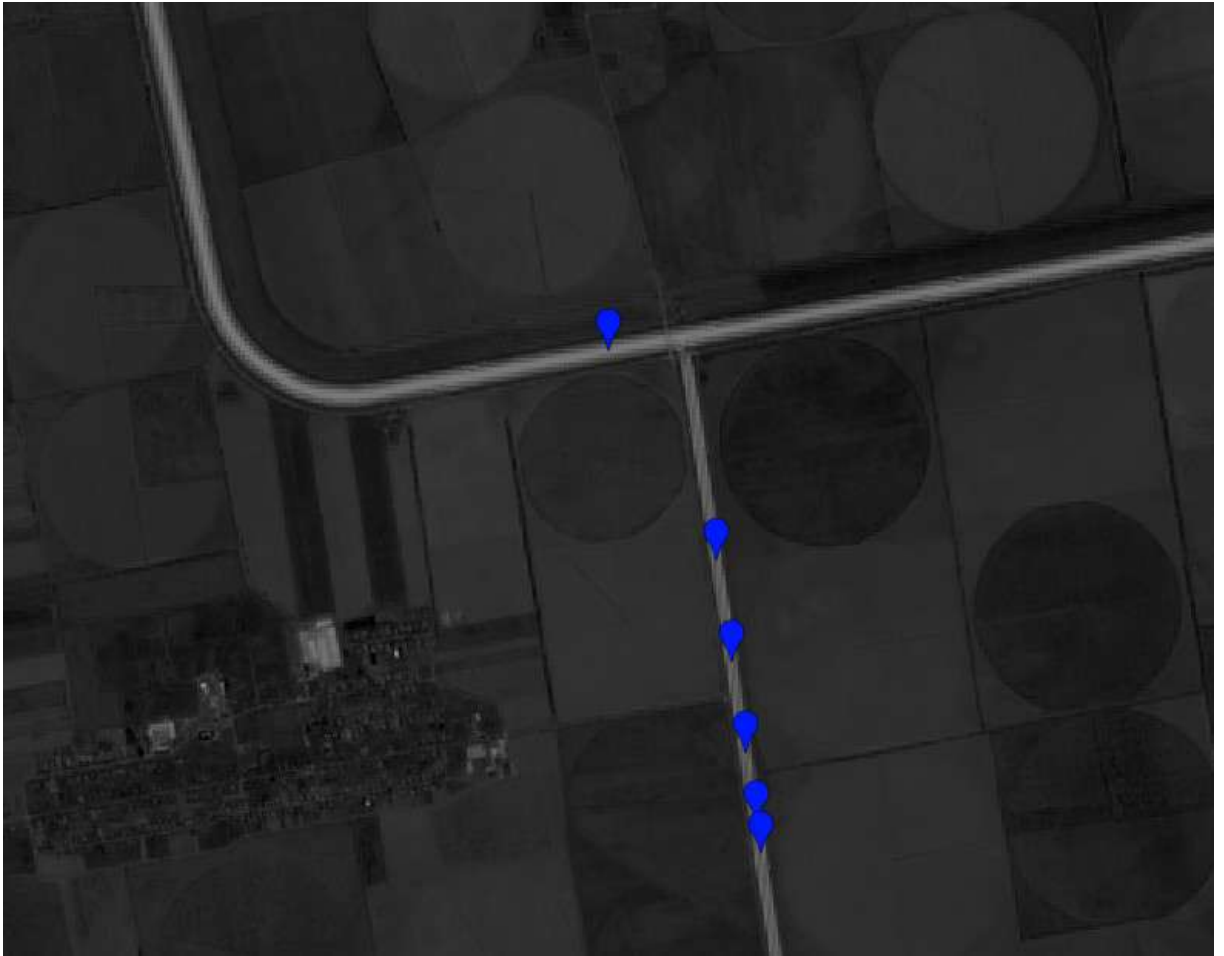


Рис.3.3 Застосування індексу  $AWEI_{insh}$

Для кожного обраного року було створено набір зразків для класифікації (Рис.3.4-3.5)



Рис.3.4 Зразки на прикладі 2024 року

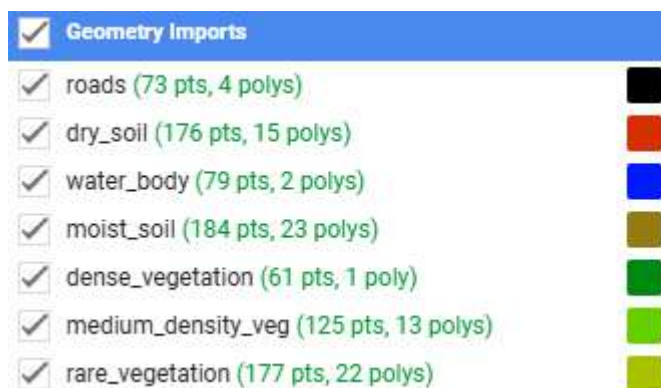


Рис.3.5 Набори зразків

### 3.3.2 Реалізація класифікації

Після розставлення зразків, була застосована класифікація, за допомогою класифікатора SmileRandomForest.

Розставлені зразки були взяті як тренувальні дані, валідаційні отримані алгоритмом, який випадково вибирає 30% із загальних розставлених зразків.

Після чого було розраховано похибки і точність(Таблиця 2.1):

- 1) Матриця похибок;
- 2) Загальна точність;
- 3) Точність користувача;
- 4) Точність виробника;
- 5) Коефіцієнт каппа.

Таблиця 2.1 Класифікатор

```
// Класифікація
var Samples =
water_body.merge(dry_soil).merge(moist_soil).merge(dense_vegetation).merge(medium_density
_veg).merge(rare_vegetation).merge(roads); // Навчальні семпли
var trainingSamples = Samples.filterBounds(region)
var RandomSamples = trainingSamples.randomColumn('random');
var validationSamples = RandomSamples.filter(ee.Filter.lt('random', 0.3)); // Валідаційні семпли
var bands = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B11', 'B12', 'WI_2015', 'AWEI_sh',
'MNDWI', 'NDVI', 'ARVI', 'NDMI', 'NDBSI', 'VSDI'];
var mosaic = mosaic.addBands(['WI_2015, AWEI_sh, MNDWI, NDVI, ARVI, NDMI, NDBSI,
VSDI]);
```

```
var training = mosaic.select(bands).sampleRegions({
  collection: trainingSamples,
  properties: ['class'],
  scale: 10
});

// Класифікатор Random Forest
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(250).train({
  features: training,
  classProperty: 'class',
  inputProperties: bands
});

// Застосування класифікатора
var classified = mosaic.select(bands).classify(classifier);

// Відображення класифікації
Map.addLayer(classified, {min: 0, max: 7, palette: ['blue', 'red', 'brown', 'green', 'cyan', 'yellow',
'black', 'black']}, 'Класификация');

// Оцінка точності
var validation = mosaic.select(bands).sampleRegions({
  collection: validationSamples,
  properties: ['class'],
  scale: 10
});

var testAccuracy = validation.classify(classifier).errorMatrix('class', 'classification');

// Вивід метрик
print("Матриця похибок", testAccuracy);
print("Загальна точність", testAccuracy.accuracy());
print("Точність користувача", testAccuracy.consumersAccuracy());
print("Точність виробника", testAccuracy.producersAccuracy());
print("Коефіцієнт каппа", testAccuracy.kappa());
```

Приклад класифікованого растрового зображення за 2019 рік (Рис.3.6)

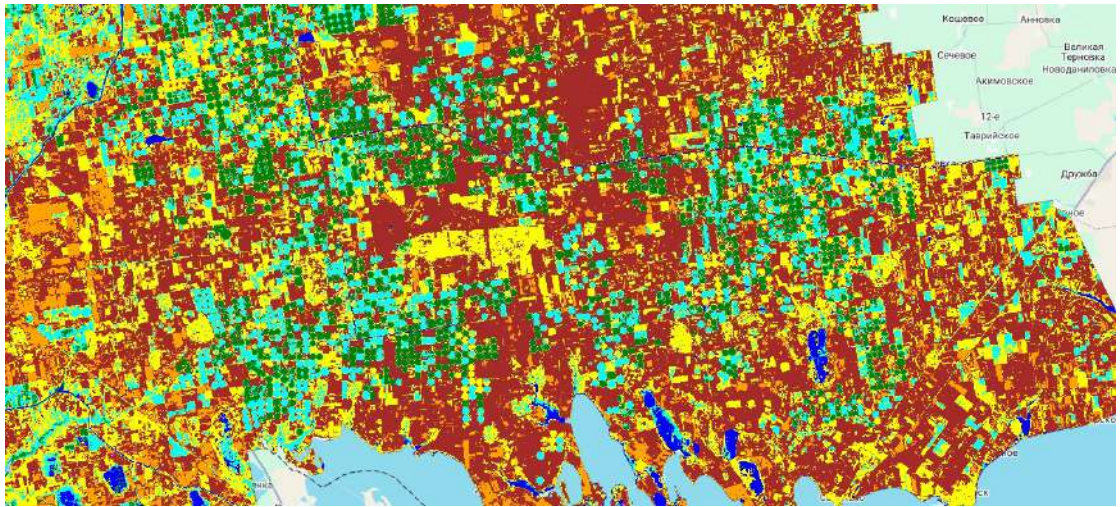


Рис.3.6 Класифіковане растрове зображення за 2019 рік

Оцінка точності класифікації растрового зображення (нумерація класів див. р. 3.2.1):

Таблиця 2.2 Оцінка точності

Рік	2019	2022	2023	2024
Матриця помилок	0:[72,0,0,0,0,0] 1:[0,73,1,0,0,0] 2:[0,0,61,0,0,0] 3:[0,0,0,32,0,0] 4:[0,0,0,0,30,0] 5:[0,0,0,0,31,0] 6:[0,0,0,0,0,21]	0:[50,0,0,0,0,0] 1:[0,35,0,0,0,0] 2:[0,0,80233,0,0,4,0] 3:[0,0,0,44,0,0] 4:[0,0,0,0,1047,0,0] 5:[0,0,2,0,0,68309,0] 6:[0,0,0,0,0,1,37]	0:[101,0,0,0,0,0,0] 1:[0,52268,0,0,0,0,0] 2:[0,0,8115,0,0,0,0] 3:[0,0,0,259,0,0,0] 4:[0,0,0,0,2820,0,0] 5:[0,0,1,0,1,3560,0] 6:[0,0,0,0,0,0,23]	0:[189,0,0,0,0,0,0] 1:[0,17287,0,0,0,0,0] 2:[0,0,31792,0,0,0,0] 3:[0,0,0,13,0,0,0] 4:[0,0,0,0,1559,0,0] 5:[0,2,1,0,0,2549,0] 6:[0,0,1,0,0,0,27]
Загальна точність	0.99688473520249 22	0.9999532591712184	0.9999702150473581	0.9999251216772744
Точність користувача	[[1,1,0.9838709677 419355,1,1,1,1]]	[[1],[1], [0.9999501476874758 ],[1], [1], [0.9999707221384551 ], [0.9736842105263158 ]]	[1,1,0.999876786594 3815,1,0.9996455157 745481,1,1]	[1,0.9998843195095147,0. 9999370950493803,1,1,1,]
Точність виробника	[[1], [0.98648648648648 65],[1],[1],[1],[1], [1]]	[[1],[1], [0.9999501476874758 ],[1],[1], [0.9999707221384551 ], [0.9736842105263158 ]]	[[1],[1],[1],[1],[1], [0.999438517686692 9],[1]]	[[1],[1],[1],[1],[1], [0.9988244514106583], [0.9642857142857143]]
Коефіцієнт капша	0.996238883616296	0.9999074166707962	0.9999205506595592	0.9998607997245784

Дешифрувальний атлас та палету класів зображено на рис.3.7 – 3.8

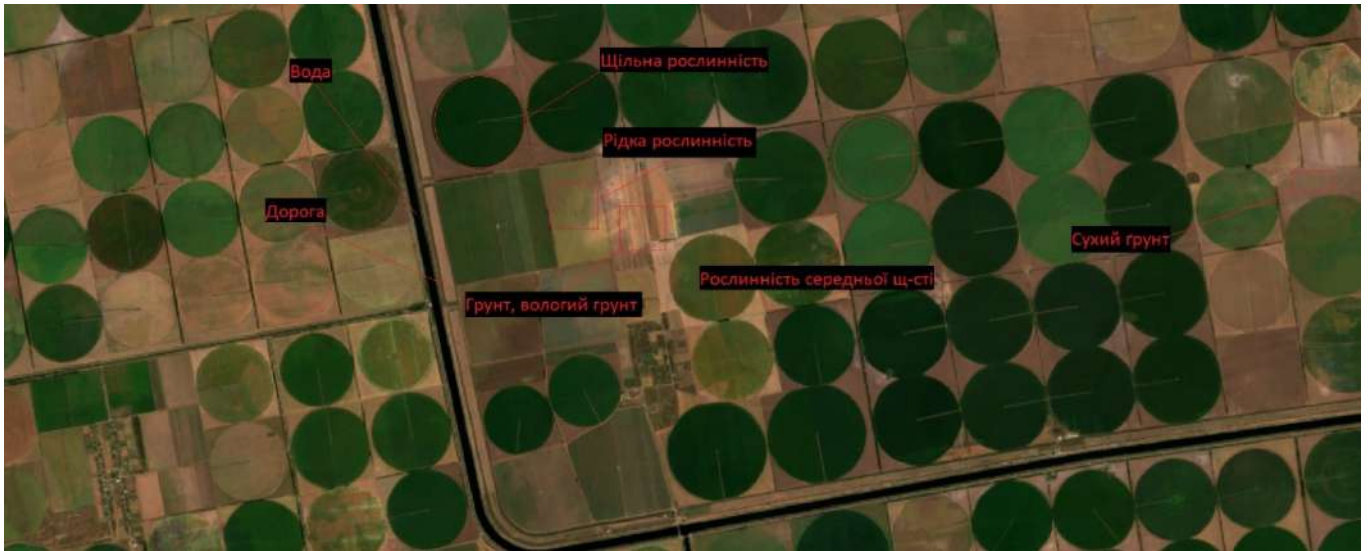


Рис.3.7 Дешифрувальний атлас

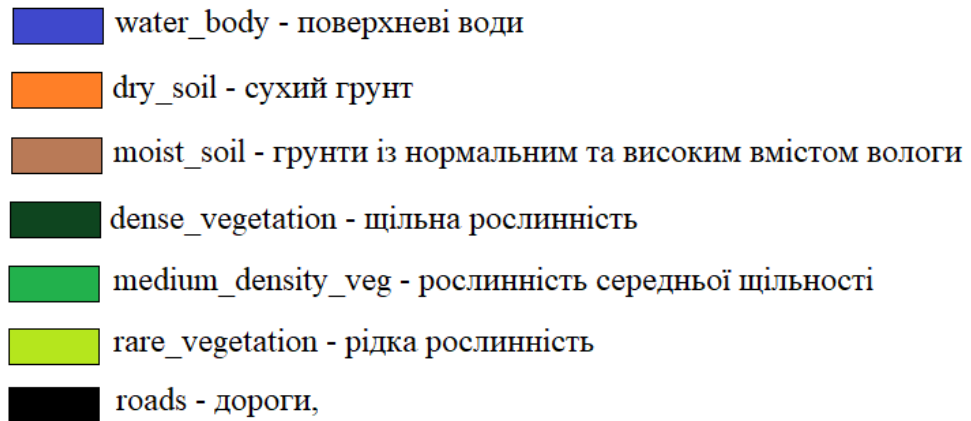


Рис.3.8 – Палета класів

Після класифікації і підрахування похибок було отримано ряд тематичних растрів, які були експортовані і завантажені у QGIS для подальшої обробки.

### **3.4 Оцінка стану та виявлення змін зрошувальної системи каналів**

#### **Херсонської області за 2018-2024 рр.**

Алгоритм використаний у цьому розділі, є ідентичним, він продемонстрований на одному прикладі.

У QGIS було завантажено класифікований растр 2023 року. За допомогою інструменту SAGA majority/minority filter, було відфільтровано дуже малі геометрії для прискорення операцій над растром (Рис.3.9.-4.0)

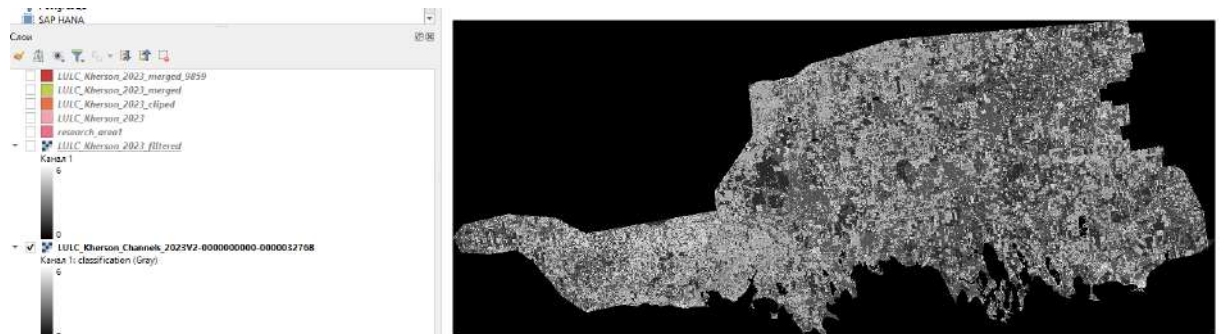


Рис.3.9 Завантажений класифікований растр 2023 року

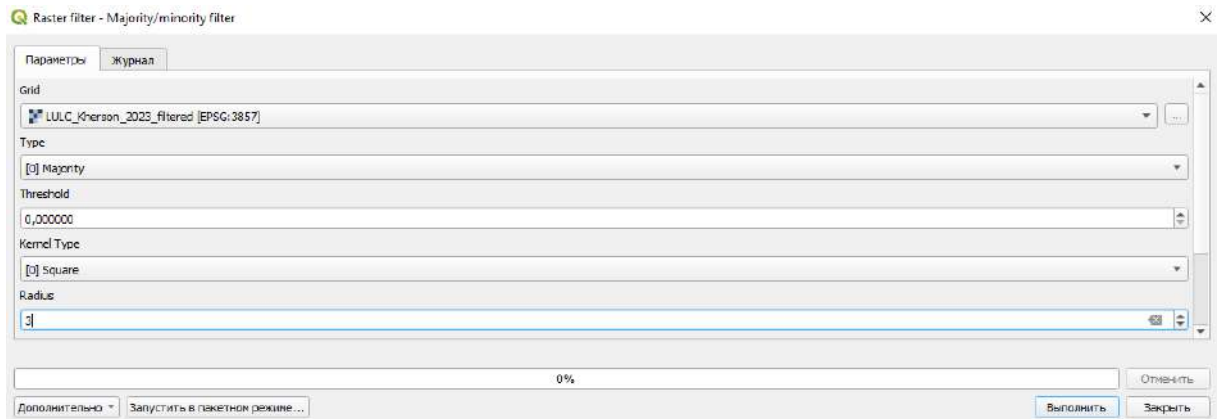


Рис.4.0 Інструменту SAGA majority/minority filter

Наступним кроком за допомогою інструменту перетворення було, перетворено растр у вектор (Рис.4.1-4.2)

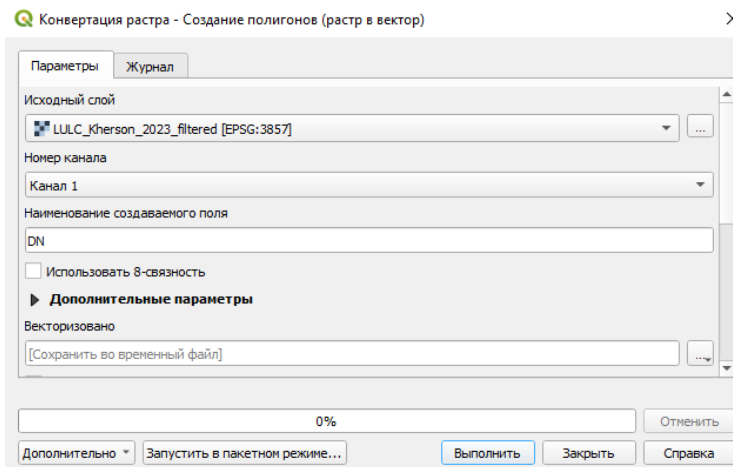


Рис.4.1 Інструмент перетворення растру у вектор

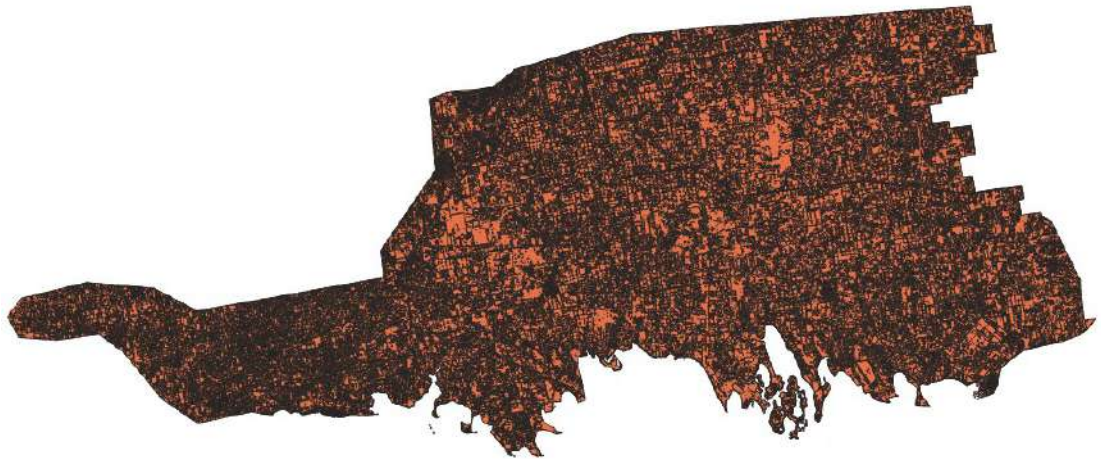


Рис.4.2 Результат перетворення

Однак отримані векторні дані мають розрізнену геометрію (Рис.4.2).

DN	
1	3
2	4
3	4
4	4
5	2
6	4
7	2
8	4
9	2
10	5
11	5
12	5
13	4

Рис.4.2

Для використання цих даних в подальшому для аналізу та наповнення БГД було зібрано геометрію у рамках класів інструментом: об'єднати за ознакою (Рис.4.3-4.4)

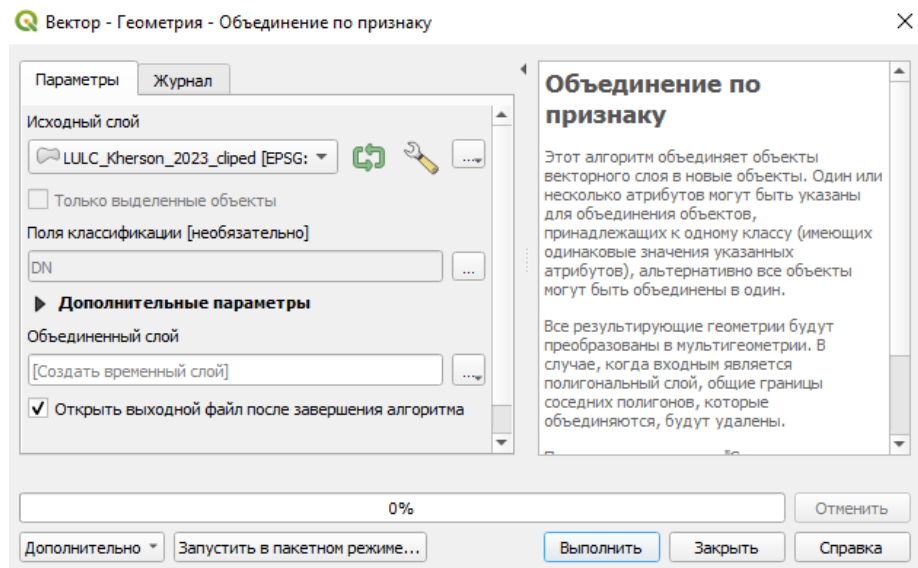


Рис.4.3 Об'єднання за ознакою

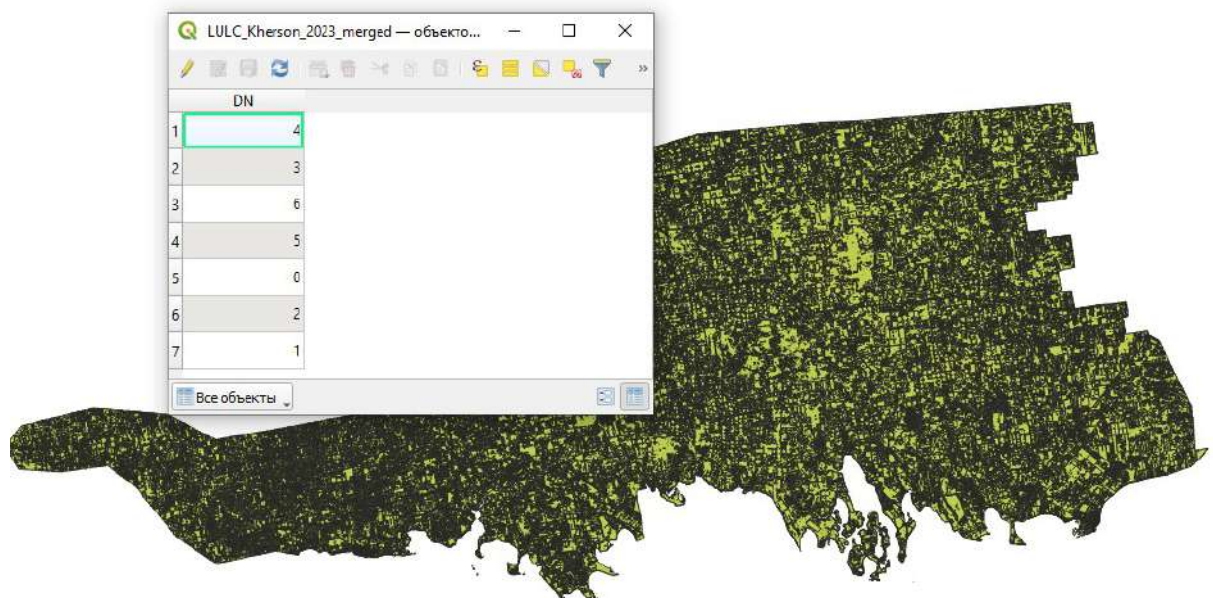


Рис.4.4 Результат об'єднання

Після злиття розрізненої геометрії, її було збережено у проекції EPSG:9859 локальній системі координат Херсонської області, над векторними даними було виконано операції геопросторового аналізу.

### 3.5 Геопросторовий аналіз та візуалізація отриманих даних в результаті дослідження.

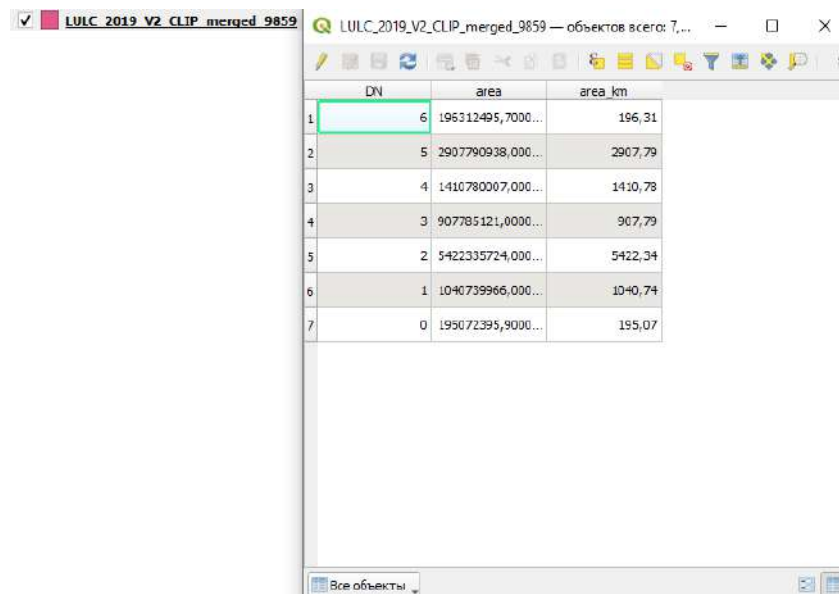
Злита геометрія була завантажена у БГД через PGShapeLoader.

Було підраховано площі у метрах та кілометрах квадратних, для геометрій кожного року за допомогою коду зазначеного у таблиці 2.3 та завантажено ці слої у QGIS (Рис.4.5)

Таблиця 2.3

*Підрахунок площ геометрії*

```
ALTER TABLE LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859 ADD COLUMN area_sqm  
DOUBLE PRECISION;  
ALTER TABLE LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859 ADD COLUMN area_sqkm  
DOUBLE PRECISION;  
UPDATE LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859  
SET  
area = ST_Area(geom::geography),  
area_km = ST_Area(geom::geography) / 1000000;
```



The screenshot shows a QGIS window displaying a table for the layer 'LULC\_2019\_V2\_CLIP\_merged\_9859'. The table has three columns: 'DN', 'area', and 'area\_km'. The 'area' column contains large numerical values representing area in square meters, and the 'area\_km' column contains the corresponding values in square kilometers. The first row is highlighted in green.

	DN	area	area_km
1	6	195312495,7000...	196,31
2	5	2907790938,000...	2907,79
3	4	1410780007,000...	1410,78
4	3	907785121,0000...	907,79
5	2	5422335724,000...	5422,34
6	1	1040739966,000...	1040,74
7	0	195072395,9000...	195,07

Рис.4.5 LULC\_2019\_V2\_CLIP\_merged\_9859 із підрахованими площами

### 3.5.1 Наповнення бази даних

База даних розрахована на дані у системі координат EPSG: 4326, у той час коли LULC\_2019\_V2\_CLIP\_merged\_9859 містить дані у системі координат EPSG: 9859. Також враховуючи що є 5 основних класів, які будуть імпортовані у базу даних, після класифікації і векторизації. water\_body - значення dn – 0,

dry\_soil – 1, moist\_soil – 2, dense\_vegetation – 3, medium\_density\_veg – 4, rare\_vegetation – 5. У шейпфайлі LULC\_2019\_V2\_CLIP\_merged\_9859 всього 3 атрибути dn, area, area\_km. Ці дані було імпортовано у базу даних, адаптувавши їх повинстю під її структуру, деякі класи відповідно до її структури стали об'єктами із певними доменами.

**Для початку було виконано перетворення систем координат:**

```
UPDATE LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859 SET geom =  
ST_Transform(geom, 4326);
```

Трансформація SRID до EPSG: 4326 забезпечує сумісність із геометріями у базі даних.

Згідно з структурою даних LULC\_2019\_V2\_CLIP\_merged\_9859:

water\_body (dn = 0) → таблиця Water\_body.

dry\_soil (dn = 1) і moist\_soil (dn = 2) → таблиця Soil\_object з доменом soil\_moisture\_domain.

dense\_vegetation (dn = 3), medium\_density\_veg (dn = 4), rare\_vegetation (dn = 5) → таблиця Vegetation\_object з доменом veg\_type\_domain.

**Дані було імпортовано згідно коду у таблиці 2.4**

Таблиця 2.4

*Імпорт і адаптація отриманих даних під структуру БГД*

```
-- 2.1. Додавання об'єктів water_body  
INSERT INTO Water_body (water_body_area, geom, info)  
SELECT  
    area, -- Площа у квадратних метрах  
    geom,  
    'Imported from LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859'  
FROM  
    temp_lulc  
WHERE
```

```

dn = 0; -- Клас water_body

-- 2.2. Додавання об'єктів soil_object
INSERT INTO Soil_object (soil_type, soil_moisture, soil_area, geom,
info)
SELECT
CASE
WHEN dn = 1 THEN 'Dry_soil'
WHEN dn = 2 THEN 'Moist_soil'
END AS soil_type, -- Тип ґрунту
ARRAY[
CASE
WHEN dn = 1 THEN 'Dry_soil'
WHEN dn = 2 THEN 'Moist_soil'
END
]::soil_moisture_domain[] AS soil_moisture, -- Відповідний домен
area,
geom,
'Imported from LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859'
FROM
temp_lulc
WHERE
dn IN (1, 2); -- Класи dry_soil і moist_soil

-- 2.3. Додавання об'єктів vegetation_object
INSERT INTO Vegetation_object (veg_name, veg_type, veg_area,
geom, info)
SELECT
CASE

```

```

        WHEN dn = 3 THEN 'Dense_vegetation'
        WHEN dn = 4 THEN 'Medium_density_veg'
        WHEN dn = 5 THEN 'Rare_vegetation'
    END AS veg_name, -- Назва об'єкта
    ARRAY[
        CASE
            WHEN dn = 3 THEN 'Dense_vegetation'
            WHEN dn = 4 THEN 'Medium_density_veg'
            WHEN dn = 5 THEN 'Rare_vegetation'
        END
    ]::veg_type_domain[] AS veg_type, -- Відповідний домен
    area,
    geom,
    'Imported from LULC_2019_V2_CLIP_merged_9859'
FROM
    temp_lulc
WHERE
    dn IN (3, 4, 5); -- Класи dense_vegetation, medium_density_veg,
rare_vegetation

```

Тепер було необхідно **переобчислити площі**

Оскільки площі вже задані в EPSG: 9859 (метри), трансформація до EPSG: 4326 не вплинула на їхні значення.

Переобчислення показани на прикладі класу water\_body:

```
UPDATE Water_body
```

```
SET water_body_area = ST_Area(geom::geography);
```

**Виконано перевірку геометрій**

Після трансформації координат і перенесення даних виконано перевірку на коректність геометрій:

```
SELECT geom, ST_IsValid(geom) AS valid  
FROM temp_lulc  
WHERE NOT ST_IsValid(geom);
```

Наступний фрагмент є рішенням, якщо некоректні геометрії знайдені:

```
UPDATE temp_lulc  
SET geom = ST_MakeValid(geom)  
WHERE NOT ST_IsValid(geom);
```

Створено просторові індекси:

```
CREATE INDEX idx_water_body_geom ON Water_body USING GIST (geom);  
CREATE INDEX idx_vegetation_object_geom ON Vegetation_object USING GIST (geom);  
CREATE INDEX idx_soil_object_geom ON Soil_object USING GIST (geom);
```

Відповідно до обраної в проекті класифікації об'єктів визначено зміни рослинного покриву, земельного покриву, та водних об'єктах у зоні дослідження.

Таблиця 2.5

*Площі об'єктів класифікації земного покриву 2019 рік, літній період*

Land Coverage	Площа, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	195,07
Сухий ґрунт	1040,74
Ґрунт	5618,65
Щільна рослинність	907,79
Рослинність середньої щільності	1410,78
Рідкісна рослинність	2907,79

Таблиця 2.6

*Площі об'єктів класифікації земного покриття 2022 рік, літній період*

Land Coverage	Площа, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	165,13
Сухий ґрунт	303,99
Ґрунт	6233,24
Щільна рослинність	605,34
Рослинність середньої щільності	1387,79
Рідкісна рослинність	3384,96

Таблиця 2.7

*Площі об'єктів класифікації земного покриття 2023 рік, літній період*

Land Coverage	Площа, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	177,87
Сухий ґрунт	1664,92
Ґрунт	5412,58
Щільна рослинність	407,93
Рослинність середньої щільності	2792,65
Рідкісна рослинність	1600,10

Таблиця 2.8

*Площі об'єктів класифікації земного покриття 2024 рік, літній період*

Land Coverage	Площа, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	69,88
Сухий ґрунт	5040,25
Ґрунт	3898,39
Щільна рослинність	118,08
Рослинність середньої щільності	1321,99
Рідкісна рослинність	1610,88

Особливості створення тематичних карт: Векторні дані після 2019 року, важать чутливо більше, через що, потужності ПК користувача не вистачає для відображення усієї області дослідження. Однак аналіз площ, проведено для кожного року, для всієї області дослідження.

Було додано, ще один допоміжний шар окрім області дослідження: область візуалізації, вона звужує візуалізацію, щоб відобразити більш важкі векторні дані.

Наглядність інформації від цього не постраждала, зміни на тематичних картах видно не озброєним оком.

Область візуалізації була створена таким чином шляхом:

Було взято набір геопросторових даних Основної державної топографічної карти масштабу 1: 50 000, розробником якої є Державне підприємство «Науково-дослідний інститут геодезії і картографії» (ДП «НДІГК»), каталог групи 04 «Гідрографічні об'єкти та гідротехнічні споруди», клас об'єкта Watercourse - ділянки водотоків та каналів гідрографічної мережі, та в межах області дослідження створено буфер на 5 кілометрів. *Буферна зона в 5 кілометрів навколо ділянок водотоків та каналів гідрографічної мережі, класу об'єкта Watercourse, групи 04 «Гідрографічні об'єкти та гідротехнічні споруди», у межах області дослідження і є областю візуалізації.*

## Порівняно зміни 2022 року відносно 2019

Тематична карти представлені у дод.

Подивимося на зміни рослинного покриву (Таблиця 2.9)

Таблиця 2.9

*Зміни ґрунтового покриву 2019-2022*

Land Coverage	Зміна площі, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	-29,94
Сухий ґрунт	-736,75
Ґрунт	+614,59
Щільна рослинність	-302,45
Рослинність середньої щільності	-22,99
Рідкісна рослинність	+477,17

Важко зробити однозначний висновок, оскільки немає контексту погоди на період зйомки, та в дослідженні не було враховано сезонні зміни.

Однак можна зробити припущення, що це викликано сезонними змінами, та дані на 2022 це початок літа, зменшена кількість сухого ґрунту, порівняно із 2019, це може означати вологий ґрунт після весни, так само менша кількість щільної рослинності, та збільшення рідкої рослинності може вказувати про початок літа. Зменшення поверхневих вод в рамках дослідження може бути або похибкою, або різницею через погоду, оскільки -29,94 км<sup>2</sup> на досліджувану зону 12084,37 км<sup>2</sup>, не є значним показником.

**Порівняно зміни 2022 і 2023 роком (Таблиця 3.0)**

Таблиця 3.0

### *Зміни ґрунтового покриву 2022-2023*

Land Coverage	Зміна площі, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	+12,74
Сухий ґрунт	+1360,93
Ґрунт	-820,66
Щільна рослинність	-197,41
Рослинність середньої щільності	+1404,86
Рідкісна рослинність	-1784,86

На думку автора, ці зміни не виглядають як сезони, оскільки усі ці чинники разом вказують на засуху. Одночасно зменшення площі ґрунтів і рідкої рослинності, із великим приростом сухого ґрунту вказує на загальне зменшення вологості.

Це також спостерігається на тематичній карті. Якщо взяти до уваги також факт, що частина каналів пересохла біля Дніпра, що видно на тематичній карті, це може означати що води стали застійними, через що зросла кількість рослинності середньої щільності.

#### **Порівняно зміни 2023 і 2024**

Результати порівняння цих років, тільки закріплює впевненість у тенденції засухи (Таблиця 3.1)

Таблиця 3.1

### *Зміни ґрунтового покриву 2023-2024*

Land Coverage	Зміна площі, у км <sup>2</sup>
Поверхневі води	-108
Сухий ґрунт	+3375,3
Ґрунт	-1514
Щільна рослинність	-289,9
Рослинність середньої щільності	-1471
Рідкісна рослинність	+10,78

Значна зміна площі поверхневих вод, пересохлі канали на тематичній карті, значне збільшення сухого ґрунту, та зменшення щільної рослинності і середньої щільності одночасно вказує на засуху.

Отже наслідки підриву Каховської ГЕС однозначно спричинили значне порушення зрошувальних можливостей, осушення каналів, застій води, засуху та зменшення зеленого покриву.

### Список літератури:

- [1] Дистанційне зондування Землі. Лекційний матеріал для дисциплін “Системи супутникового зв’язку”, “Системи зв’язку з рухомими об’єктами”. - Тернопіль: ТНТУ, 2012– 58 с.
- [2] Bingxue Zhao, Lei Wang, Surface water monitoring from 1984 to 2021 based on Landsat time-series images and Google Earth Engine, China University of Mining and Technology, Xuzhou. 221116, China
- [3] M Sufia Sultana, Ashraf Dewan, A reflectance-based water quality index and its application to examine degradation of river water quality in a rapidly urbanising megacity, School of Environment, Geography and Geosciences, University of Portsmouth, Portsmouth PO1 3QL, United Kingdom
- [4] Mengmeng Cao, Eerdemutu Jin, Wenjing Zhao, A spectral index for the detection of algal blooms using Sentinel-2 Multispectral Instrument (MSI) imagery: a case study of Hulun Lake, China
- [5] Hao Sun, Hao Liu, Yanhui Ma, Qunbo Xia Optical Remote Sensing Indexes of Soil Moisture: Evaluation and Improvement Based on Aircraft Experiment Observations, China Aerospace Academy of Architectural Design & Research Co., Ltd., Beijing 100162, China; 18501147122@163.com
- [6] Akib Javed, Qimin Cheng, Hao Peng, Nayyer Saleem, Review of Spectral Indices for Urban Remote Sensing - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Volume 87, Number 7, July 2021, pp. 513-524(12)
- [7] Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications - Xue - 2017 - Journal of Sensors - Wiley Online Library
- [8] Langbein, W.B.; Iseri, Kathleen T. (1995). "Hydrologic Definitions: Stream". Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques (Water Supply Paper 1541-A). Reston, VA: United States Geological Survey..
- [9] "What causes high tide and low tide? Why are there two tides each day?". HowStuffWorks. 21 May 2009. Retrieved 10 December 2017.

- [10] Burrows, Colin J. (1990). *Processes of vegetation change*. London: Unwin Hyman. p. 1. ISBN 978-0045800131.
- [11] *Introduction to California Plant Life*; Robert Ornduff, Phyllis M. Faber, Todd Keeler-Wolf; 2003 ed.; p. 112
- [12] Voroney, R. Paul; Heck, Richard J. (2007). "The soil habitat". In Paul, Eldor A. (ed.). *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (3rd ed.). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier. pp. 25–49. doi:10.1016/B978-0-08-047514-1.50006-8. ISBN 978-0-12-546807-7. Archived (PDF) from the original on 10 July 2018. Retrieved 27 March 2022.
- [13] Taylor, Sterling A.; Ashcroft, Gaylen L. (1972). *Physical edaphology: the physics of irrigated and nonirrigated soils*. San Francisco, California: W.H. Freeman. ISBN 978-0-7167-0818-6.
- [14] McCarthy, David F. (2014). *Essentials of soil mechanics and foundations: basic geotechnics* (7th ed.). London, United Kingdom: Pearson. ISBN 9781292039398. Archived from the original on 16 October 2022. Retrieved 27 March 2022.
- [15] Gilluly, James; Waters, Aaron Clement; Woodford, Alfred Oswald (1975). *Principles of geology* (4th ed.). San Francisco, California: W.H. Freeman. ISBN 978-0-7167-0269-6.
- [16] Huggett, Richard John (2011). "What is geomorphology?". *Fundamentals of geomorphology*. *Routledge Fundamentals of Physical Geography Series* (3rd ed.). London, United Kingdom: Routledge. pp. 148–150. ISBN 978-0-203-86008-3. Retrieved 16 October 2022.[permanent dead link]
- [17] Ponge, Jean-François (2015). "The soil as an ecosystem". *Biology and Fertility of Soils*. 51 (6): 645–648. Bibcode:2015BioFS..51..645P. doi:10.1007/s00374-015-1016-1. S2CID 18251180. Retrieved 3 April 2022.

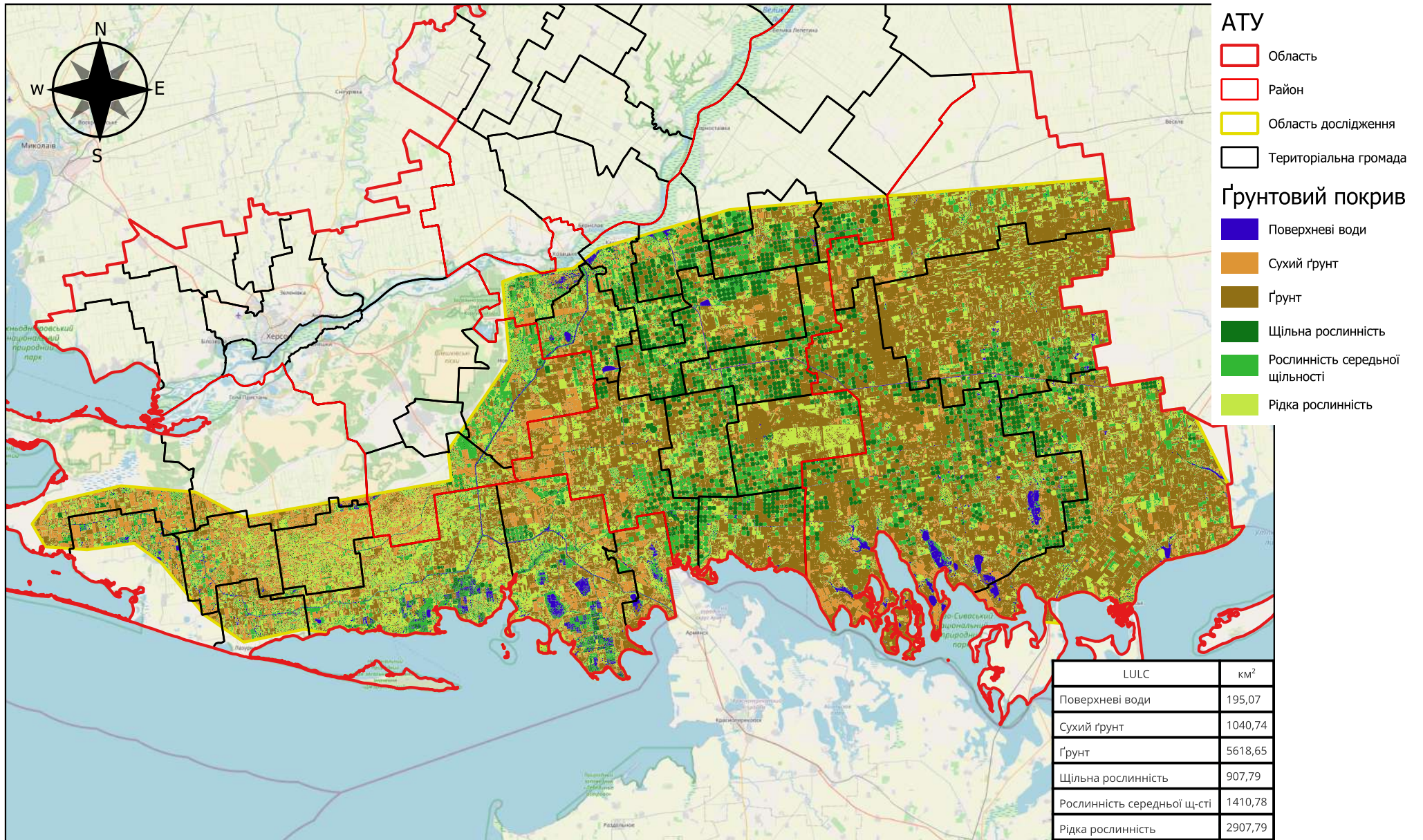
- [19] M. A. Atay, G. Kaplan. Large-Scale Mapping of Inland Waters with Google Earth Engine Using Remote Sensing. *Environmental Sciences Proceedings*, 2023, 25.1: 52. doi: <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14171>.
- [20] Boothroyd, R. J., Williams, R. D., Hoey, T. B., Barrett, B., & Prasojo, O. A. Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2021, 8(1), e21496. doi: <https://doi.org/10.1002/wat2.1496>.
- [21] Mutanga, O., & Kumar, L. Google Earth Engine Applications. *Remote sensing*, 2019, 11(5), 591, doi: <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- [22] Вікіпедія. Вільна Енциклопедія. QGIS  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/QGIS#cite\\_note-3](https://uk.wikipedia.org/wiki/QGIS#cite_note-3)
- [23] Грушко Л. В., Топольникова І. В. Основи баз даних: Навчальний посібник. – Київ: Наукова думка, 2020.
- [24] Chen P.P. The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data // *ACM Transactions on Database Systems*, 1976.
- [25] Silberschatz A., Korth H.F., Sudarshan S. *Database System Concepts*. – 6th ed. – McGraw-Hill, 2010.
- [26] Ullman J.D. *Principles of Database and Knowledge-Base Systems*. Vol. 1. – Computer Science Press, 1988.
- [27] Navathe S., Elmasri R. *Fundamentals of Database Systems*. – 7th ed. – Pearson, 2016.
- [28] Codd E.F. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks // *Communications of the ACM*, 1970.
- [29] ДСТУ 8774:2018. Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних.
- [30] СОУ 71.12-37-949:2014. База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів.
- [31] Ельмасрі Р., Навате Ш. *Основи систем баз даних*. Київ: BHV, 2020.

- [32] ДСТУ ISO 19110:2017. Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів.
- [33] СОУ 742-337395400011:2010. Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів.
- [34] ISO 19110:2016. Geographic Information – Methodology for Feature Cataloguing.

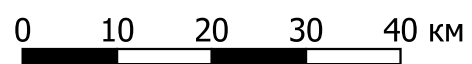
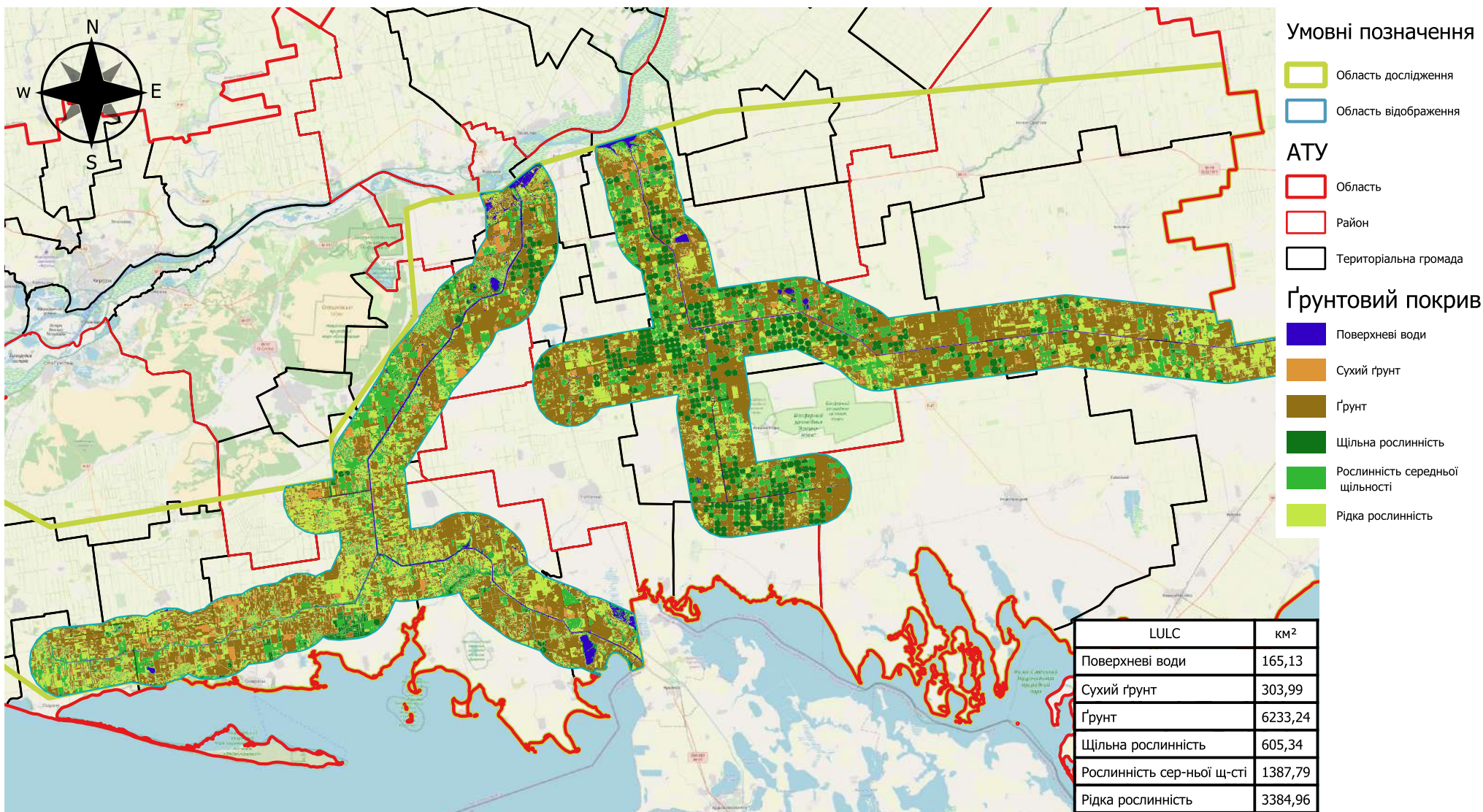
## ДОДАТОК А. ТЕМАТИЧНІ КАРТИ

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав	Родченко О.А				Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Кінь							
Зав. каф.	Карпінський Ю. О				КНУБА, група ГСТм-21			

# Стан поверхневих вод, каналів, ґрунтового покриття в області зрошувальної системи каналів Херсонської області за літній період 2019 року



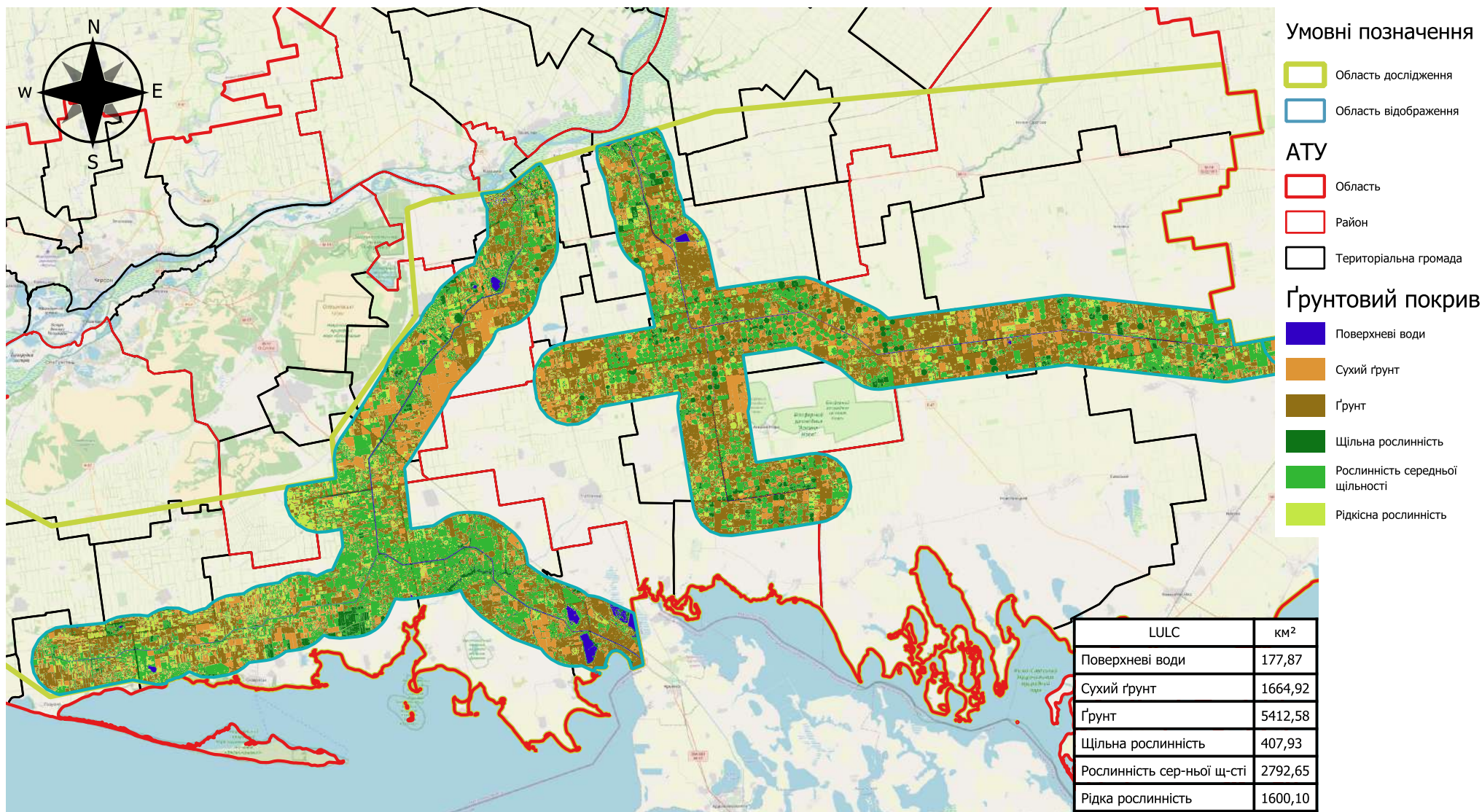
# Стан поверхневих вод, каналів, ґрунтового покритву в області зрошувальної системи Херсонської області за літній період 2022 року



1:800000

(c) Copernicus  
(c) OpenStreetMap  
(c) ДП «НДІГК»

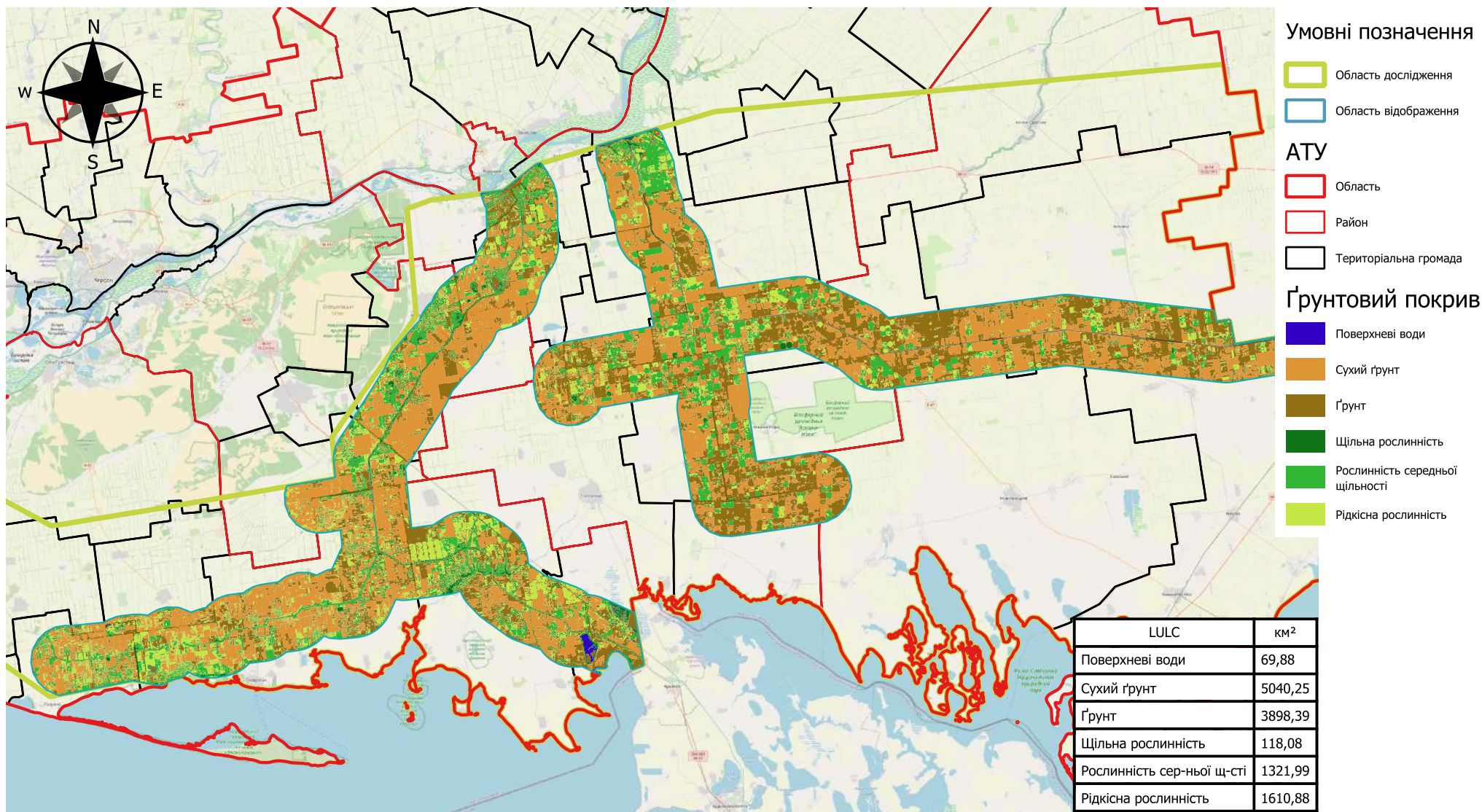
# Стан поверхневих вод, каналів, ґрунтового покритву в області зрошувальної системи Херсонської області за літній період 2023 року



0 10 20 30 40 км

1:800000

# Стан поверхневих вод, каналів, ґрунтового покритву в області зрошувальної системи Херсонської області за літній період 2024 року



0 10 20 30 40 км

1:800000

## ДОДАТОК В. Графіки і діаграми

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Родченко О.А			Розроблення ГІС моніторингу зрошувальної системи каналів Херсонської області за 2018-2024 рр.	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Кінь						
Зав. каф.		Карпінський Ю. О			КНУБА, група ГСТм-21			

Діаграма змін ґрунтового покриття за період дослідження

