

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ НАЗЕМНИХ СПОРУД І АЕРОДРОМІВ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____Юрій Великодський

«__»_____2023 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

Тема: «Картографування зміни земельного покриву з використанням супутникових знімків в Google Earth Engine»

Виконавець: здобувачка вищої освіти групи ГІС-208М

Бровченко Вікторія Віталіївна _____

Керівник: к.т.н., доцент, Гебрин-Байди Лілія Василівна _____

Консультант розділу «Охорона праці»:

асистент Кічата Наталія Миколаївна _____

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»:

к.т.н., доцент Дмитруха Тетяна Іллівна _____

Нормоконтролер: PhD, доцент Іщенко Наталія Федорівна _____

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет наземних споруд і аеродромів

Кафедра аерокосмічної геодезії та землеустрою

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

_____Ю. І. Великодський

«___»_____2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Бровченко Вікторії Віталіївни

- 1.Тема роботи «Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в Google Earth Engine» затверджена наказом ректора від «20» жовтня 2023р. № 2164/ст.
2. Термін виконання роботи: з «2» жовтня 2023 року по «31» грудня 2023 року
- 3.Вихідні дані роботи: супутникові знімки Landsat Землі з високою просторовою роздільною здатністю, документація Google Earth Engine, інструкції та приклади роботи з супутниковими знімками в середовищі GEE, а також наукові статті та публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з питань картографування змін земельного покриття на основі супутникових даних та використання Google Earth Engine.
4. Зміст пояснювальної записки: ВСТУП, РОЗДІЛ 1. КАРТОГРАФУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ; РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА ТА ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ

ЗНІМКІВ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ; РОЗДІЛ 3. КАРТОГРАФУВАННЯ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ; ВИСНОВКИ; СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: 5 таблиць, 31 рисунок.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Систематизація та аналіз літературних джерел	02.10.2023	15.11.2023
2	Збір та аналіз геоданих для оптимізації інфраструктури водопостачання та водовідведення	16.11.2023	30.11.2023
3	Моделювання мереж водопостачання, водовідведення	01.12.2023	15.12.2023
4	Написання пояснювальної записки до магістерської роботи	16.12.2023	20.12.2023
5	Представлення закінчених матеріалів на відгук керівнику та рецензенту	20.12.2023	20.12.2023

7. Консультанти з окремих розділів:

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	доцент Дмитруха Тетяна Іллівна		
Охорона праці	доцент Кічата Наталія Миколаївна		

8. Дата видачі завдання: 2 жовтня 2023 р.

Керівник дипломної роботи: _____

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____

(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему: «Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в Google Earth Engine» містить: 132 сторінки, 31 рисунок, 5 таблиць, 46 використаних джерел.

Об'єктом дослідження в даній роботі є зміна земельного покриття у Львівській області.

Предметом дослідження є застосування методів дистанційного зондування для відстеження зміни земельного покриття на території Львівської області.

Мета роботи: є дослідження та аналіз динаміки зміни земельного покриття на території Львівської області з використанням сучасних методів обробки супутникових знімків у середовищі Google Earth Engine.

Методи дослідження: аналіз наукової літератури про поняття та характеристики зміни земельного покриття, супутникових знімків та методів картографування – пізнання; виявлення та пояснення тенденцій зміни земельного покриття на основі діючих факторів – пояснення; застосування методів класифікації для розділення растрових даних на різні класи земельного покриття – класифікація.

Результат магістерської роботи полягає у тому, що виявлені зміни в земельному покритті можуть бути важливими для моніторингу стану довкілля та екологічних аспектів, на основі яких можна вжити заходи для попередження природних лих, таких як зсуви ґрунту, повені, та інших природних катастроф.

Ключові слова: ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ, ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE ,QUANTUM GIS , ДЕРЕВО РІШЕНЬ , EARTH RESOURCES DATA ANALYSIS SYSTEM,ENVIRONMENT FOR VISUALIZING IMAGES , ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ,ОПЕРАЦІЙНА СИСТЕМА , GOOGLE EARTH ENGINE.

ЗМІСТ

<u>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ</u>	4
<u>ВСТУП</u>	5
<u>РОЗДІЛ 1 КАРТОГРАФУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ</u>	3
<u>ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ</u>	8
<u>1.1. Земельний покрив, визначення та класифікація</u>	8
<u>1.1.1. Зміна земельного покриву, причини та наслідки</u>	10
<u>1.1.2. Методи оцінки зміни земельного покриву</u>	12
<u>1.1.3. Методи класифікації земельного покриву</u>	23
<u>1.2. Геоінформаційні системи та їх застосування</u>	28
<u>1.2.1. Основні поняття та функції геоінформаційної системи</u>	28
<u>1.2.2. Використання ГІС для картографування</u>	31
<u>1.3. Використання супутникових зображень для картографування</u>	35
<u>1.3.1. Роль супутникових зображень у вивченні земельного покриву</u>	35
<u>1.3.2. Характеристика супутникових знімків, їх типи</u>	38
<u>1.3.3. Методи обробки супутникових знімків</u>	41
<u>Висновки до розділу 1</u>	45
<u>РОЗДІЛ 2 ПІДГОТОВКА ТА ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ</u>	
<u>ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ</u>	46
<u>2.1. Програмне середовище Google Earth Engine для супутникових знімків</u>	46
<u>2.1.1. Характеристика програмного середовища та мови програмування JavaScript</u>	48
<u>2.1.2. Обробка та зчитування супутникових зображень в Google Earth Engine</u>	52
<u>2.2. Збір та підготовка супутникових знімків</u>	55
<u>2.2.1. Вибір джерела супутникових знімків, які охоплюють Львівську область</u>	55
<u>2.2.2. Пошук супутникових знімків земельного покриву у Львівській області у Google Earth Engine</u>	57
<u>2.3. Обробка супутникових знімків Львівської області у середовищі Google Earth Engine</u>	61
<u>2.3.1. Фільтрація та підсилення зображень для покращення якості</u>	61
<u>2.3.2. Порівняння результатів класифікації для різних часових періодів</u>	64

2.3.3. <u>Створення тематичних карт та графіків для візуалізації результатів</u>	72
<u>Висновки до розділу 2</u>	76
<u>РОЗДІЛ 3 КАРТОГРАФУВАННЯ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ</u>	77
<u>3.1. Використання вегетаційних індексів (NDVI, EVI, NDSoilsIndex, BAEI, NDWI) для визначення різних типів земельного покриття</u>	77
<u>3.2. Класифікація різних видів земельного покриття на основі вегетаційних індексів</u>	88
<u>3.3.Визначення основних кількісних змін різних типів земельного покриття на основі change detection</u>	94
<u>Висновки до розділу 3</u>	100
<u>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ</u>	101
<u>4.1. Опис робочого місця. Умови праці суб'єкта. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта.</u>	101
<u>4.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів</u>	103
<u>4.2.1. Розрахунок освітлення на робочому місці</u>	104
<u>4.3. Пожежо- та вибухонебезпека</u>	107
<u>4.4. Інструкція з охорони праці при обслуговуванні</u>	109
<u>Висновки до розділу 4</u>	111
<u>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</u>	112
<u>5.1. Аналіз впливу антропогенної діяльності та природних факторів на зміни земельного покриття</u>	112
<u>5.2. Визначення важливості моніторингу зміни земельного покриття для оцінки стану довкілля</u>	114
<u>5.3. Використання супутникових знімків та Google Earth Engine для моніторингу</u>	117
<u>Висновки до розділу 5</u>	122
<u>ВИСНОВОК</u>	123
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</u>	125

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ГІС – геоінформаційні системи;

ПЗ – програмний засіб;

ESRI – Environmental Systems Research Institute;

QGIS – Quantum GIS;

ДР – дерево рішень;

ERDAS – Earth Resources Data Analysis System;

ENVI – Environment for Visualizing Images;

ІТ – інформаційні технології;

ОС – операційна система.

GEE – Google Earth Engine.

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з найважливіших проблем сучасності є зміна земельного покриву, так як земельний покрив має прямий вплив на клімат, біорізноманіття та екосистеми. Дослідження зміни земельного покриву дає змогу розробляти стратегії для ефективного управління земельними ресурсами та виявляти антропогенні і природні зміни. Ще одним значущим фактором зміни земельного покриву є зростання населення та зміни у міському і агропромисловому середовищі. Використання знімків зі супутників дає можливість розробляти раціональні плани містобудівних стратегій, аграрного розвитку та збалансованого використання територій. Аналіз змін ґрунтового покриву допомагає відслідковувати зони деградації навколишнього середовища, визначати вплив продуктивної діяльності на екосистеми та розробляти ефективні заходи захисту природи.

Постійне зростання впливу людини на природу вимагає ефективних засобів моніторингу та оцінки змін у землекористуванні. Картування цих змін дозволяє аналізувати дані в рамках глобальних викликів, таких як зміна клімату та сталий розвиток.

Для передбачення майбутніх змін у земельному покриві та розробки стратегії мінімізації негативних наслідків, зручно та ефективно, використовувати алгоритми машинного навчання та аналізу даних. Завдяки супутниковим знімкам можна отримати доступ до багатьох геопросторових даних. Використання середовища Google Earth Engine дозволяє легко й ефективно аналізувати ці дані та отримувати цінну інформацію для прийняття рішень. Адже Google Earth Engine середовище має різні аналітичні, статистичні та візуалізаційні можливості.

Отже, тема «Картографування зміни земельного покриву з використанням супутникових знімків в Google Earth Engine» має велику практичну значимість

у різних аспектах сучасного суспільства: екології, природоохоронні, геопросторовому аналізі та плануванні.

Метою даної роботи є дослідження та аналіз динаміки зміни земельного покриття на території Львівської області з використанням сучасних методів обробки супутникових знімків у середовищі Google Earth Engine.

Для досягнення вищевказаної мети в роботі необхідно вирішити наступні **завдання**:

- провести аналіз методів картографування, використання супутникових знімків та поняття зміни земельного покриття;
- дослідити динаміку та структуру земельного покриття в Львівській області;
- створити тематичні карти для візуалізації результатів у середовищі Google Earth Engine;
- зробити висновки щодо змін у земельному покритті Львівської області;
- сформулювати рекомендації для подальших досліджень та можливих застосувань отриманих результатів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є зміна земельного покриття у Львівській області.

Предметом дослідження є застосування методів дистанційного зондування для відстеження зміни земельного покриття на території Львівської області.

Методи дослідження: аналіз наукової літератури про поняття та характеристики зміни земельного покриття, супутникових знімків та методів картографування – пізнання; виявлення та пояснення тенденцій зміни земельного покриття на основі діючих факторів – пояснення; застосування методів класифікації для розділення растрових даних на різні класи земельного

покриву – класифікація. Використання геопросторових та статичних моделей для прогнозування майбутніх змін у земельному покриві на основі відомих тенденцій – моделювання. Аналіз динаміки зміни земельного покриву на різних територіях та порівняння методів класифікації для відповідного картографування. Опис методів для аналізу та обробки супутникових знімків, включаючи алгоритми, параметри та послідовність дій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у використанні Google Earth Engine для аналізу зміни земельного покриву в конкретній території (Львівській області). Це середовище дозволяє працювати з великим обсягом супутникових даних та різноманітними інструментами аналізу. Застосування Google Earth Engine для дослідження земного покриву розглядалися в працях Давибіда Л.І., Миронюк В.В., Пилип М.М. та Пивовар П.А. У дипломній роботі вперше оцінено зміну земельного покриву в Львівській області, а саме детальний аналіз зміни земельного покриву в Львівській області, що може бути корисним для розробки стратегій природокористування та екологічного моніторингу в даному регіоні.

Практичне значення отриманих результатів даної роботи полягає у тому, що виявлені зміни в земельному покриві можуть бути важливими для моніторингу стану довкілля та екологічних аспектів, на основі яких можна вжити заходи для попередження природних лих, таких як зсуви ґрунту, повені, та інших природних катастроф.

РОЗДІЛ 1 КАРТОГРАФУВАННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ

1.1. Земельний покрив, визначення та класифікація

Ефективна оцінка ґрунтового покриву та можливість моніторингу змін мають фундаментальне значення для управління природними ресурсами, захисту довкілля, продовольчої безпеки та гуманітарних програм.

Основним ресурсом, що контролює первинну продуктивність наземних екосистем, можна визначити в термінах землі: площа доступної землі, якість землі та режим зволоження. Незважаючи на успішне заміщення земельних ресурсів викопним паливом та мінеральними ресурсами, земля змінює свій стан. Земний покрив та землекористування є інтегруючими елементами ресурсної бази. Зміни в ґрунтовому покриві та землекористування впливають на глобальні системи (наприклад, атмосферу, клімат і рівень моря) або океан.

Земельний покрив є вираженням людської діяльності, тому зміни які відбуваються в ньому, напряду залежать від дій людини.

Отже, земний покрив є географічною характеристикою, яка може слугувати основою для дослідження у різних напрямках, починаючи від моніторингу лісів і пасовищ та закінчуючи статистикою, плануванням, інвестуванням, біорізноманіттям, зміною клімату та боротьбою з засухою [1].

Визначення земельного покриву є фундаментальним, оскільки в багатьох існуючих класифікаціях та легендах його плутають із землекористуванням.

Земельний покрив – опис рослинності та антропогенного впливу [1]. Ділянки, де поверхня складається з голих гірських порід або ґрунту, є власне землею, а не ґрунтовим покривом. Однак, на практиці дослідники зазвичай включають ці особливості в термін «ґрунтовий покрив».

Класифікація земельного покриву — це процес поділу поверхні Землі на різні класи або категорії, які відображають різні типи природного та

антропогенного ґрунтового покриву [2]. До класифікації можуть входити різні критерії, такі як тип рослинності, землекористування, геологічні особливості тощо.

Класифікації земельного покриву:

1. Ліси:
 - хвойні (ялинові, соснові тощо);
 - листяні (грабові, кленові, дубові тощо).
2. Сільськогосподарські землі:
 - сільськогосподарські угіддя (сади, виноградники, поля);
 - луки та пасовища.
3. Промислові та міські території:
 - забудовані території;
 - промислові зони.
4. Водні об'єкти:
 - озера, річки, ставки;
 - луки та водні болота;
5. Природні території:
 - пустелі та напівпустелі;
 - об'єкти природно-заповідного фонду та природні заповідники;
 - національні парки та заповідні зони.
6. Гірські райони:
 - снігові покриви та льодовики;
 - гори;
 - гірські долини та підгір'я.
7. Прибережні зони:
 - мангрові болота та морські лагуни;
 - пляжі [2].

1.1.1. Зміна земельного покриття, причини та наслідки

Зміна земельного покриття означає зміну певних постійних характеристик землі, таких як тип рослинності, властивості ґрунту тощо, тоді як зміна землекористування полягає у зміні способу використання певної ділянки землі або управління нею людиною. Це передбачає трансформацію природного ландшафту внаслідок зростання міст. Такі зміни спричиняють низку локальних і глобальних наслідків, зокрема втрату біорізноманіття та пов'язані з цим наслідки для здоров'я людей, а також втрату середовища існування та екосистемних послуг. В основному це зумовлено зростанням міст і є особливо важливим для країн, що розвиваються [2].

Наслідком зміни земельного та рослинного покриття є спалахи інфекційних захворювань або поява нових хвороб. Ці фактори включають сільськогосподарське вторгнення, вирубку лісів, будівництво доріг, дамб, іригацію, модифікацію водно-болотних угідь, видобуток корисних копалин, концентрацію або розширення міського середовища, деградацію прибережної зони та інші види діяльності. Ці зміни, у свою чергу, спричиняють ряд факторів, які посилюють виникнення інфекційних захворювань, таких як фрагментація лісів, інтродукція хвороб, забруднення, бідність і міграція людей.

Такі зміни можуть згодом вплинути на біологічні механізми виникнення хвороб, включаючи:

- зміну місць розмноження переносників;
- зміни біорізноманіття (зменшення видів хижаків і зміна щільності популяції);
- генетичні зміни переносників або збудників хвороб, спричинені людиною (наприклад, стійкість комарів до пестицидів або поява бактерій, резистентних до антибіотиків);
- забруднення довкілля збудниками інфекційних хвороб.

Ще одним наслідком зміни земельного покриття є граничні умови водозбору. У Новій Зеландії ці зміни призвели до перетворення цих річкових систем з однорукавних, повноводних річок з кам'янистим дном на багаторукавні річки, що швидко деградують, з високою продуктивністю і багатим гравійним дном [3]. Повна зміна русла відбулася в наслідок збільшення осадків і зміну режиму стоку через антропогенні зміни ґрунтового покриття і пов'язаного з цим утворення осадків з ярів і зсувів. Високий рівень осадків частково зумовлений швидким руйнуванням уламків гравію та високоерозійних сланців і аргілітів, що надходять від ерозії схилів у верхньому водозборі, а також прямим надходженням дрібнодисперсного осаду з ярів.

Зміна ґрунтового покриття має численні екологічні, фізичні та соціально-економічні наслідки. Розширення сільського господарства може збільшити виробництво продуктів харчування для зростаючого населення, але відповідна експлуатація земель може спричинити подальше зменшення родючості відповідних ґрунтів. Існують численні негативні наслідки з відомими і невідомими зв'язками і механізмами зворотного зв'язку.

Перетворення природної рослинності на сільськогосподарські угіддя, змінює радіаційний баланс даної одиниці площі. Серед інших екологічних наслідків – зменшення водоутримуючої здатності ґрунту. Коли природна рослинність замінюється сільським господарством, пористість ґрунту може зменшитися через ущільнення ґрунту, що знижує його інфільтраційну здатність і підвищує ризик ерозії ґрунту. У гірських районах перетворення лісів на сільськогосподарські угіддя зменшується, так само як і кількість атмосферних опадів, оскільки орні землі поглинають менше атмосферної вологи, ніж багатосарові корінні ліси або ліси будь-якого типу. Хмароутворення над земельною ділянкою також зменшується, оскільки швидкість випаровування з полів менша, ніж з лісів, що призводить до зменшення кількості опадів [4].

Зі зменшенням водоутримуючої здатності ґрунту зростає ризик гідрологічних засух у посушливі сезони, а під час дощових сезонів ґрунти стають більш схильними до ерозії. Ці процеси втрати ґрунту і відкладення

осаду можуть мати значний вплив на сільське господарство, місцеву економіку та екосистеми. Антропогенні зміни ландшафту можуть призвести до регіональних і глобальних змін клімату. Перетворення лісових земель на сільськогосподарські угіддя спричиняє зміни місцевого клімату через зміни радіаційного та водного балансу. Такі події в режимі опадів і температури, ймовірно, матимуть важливий вплив на стійкість сільськогосподарських систем.

Перетворення природної рослинності, лісів або луків на сільськогосподарські угіддя зменшує біорізноманіття, знижує здатність рослинності вловлювати атмосферну вологу і утримувати воду в рослинному покриві, робить землю вразливою до водної та вітрової ерозії, а також змінює радіаційний баланс поверхні землі, оскільки земля є відкритою і безплідною протягом частини року. Все це має досі невідомий вплив на регіональний клімат.

Отже, аналізуючи причини та наслідки зміни ґрунтового покриву, можна зробити висновки, що цей процес має значний вплив на природні екосистеми, соціально-економічний розвиток і якість життя. Наслідки зміни ґрунтового покриву необхідно розглядати як комплексний ефект взаємодії природних і антропогенних факторів, який може мати як позитивні, так і негативні сторони.

Діяльність людини, така як будівництво, розвиток інфраструктури та зміна землекористування, має значний вплив на зміну ґрунтового покриву. Ці процеси можуть призвести до втрати природних екосистем, втрати біорізноманіття та погіршення якості навколишнього середовища. У той же час належне планування та управління зміною ґрунтового покриву може сприяти сталому розвитку, покращенню інфраструктури та забезпеченню збалансованої взаємодії між суспільством і природою.

1.1.2. Методи оцінки зміни земельного покриву

Оцінка зміни ґрунтового покриву є важливою частиною дослідження, яка дозволяє визначити різницю між станом ґрунтового покриву в різний час. Це може включати визначення нових видів землекористування, зміну розміру певних типів ґрунтового покриву та оцінку ступеня втрати або збереження природних екосистем.

Візуальна інтерпретація супутникових знімків. Ця технологія включає в себе як супутникове, так і повітряне дистанційне зондування. Основним джерелом для цієї технології є електромагнітне випромінювання, де енергія від сонця досягає поверхні землі та відбивається, передається або поглинається об'єктами, що збирається супутниковими датчиками або записується на фотоплівку. Продукт, отриманий за допомогою аерофотокамери, називається «фотографія», а термін «зображення» використовується для будь-якого графічного представлення даних. Відбивання/передача/поглинання енергії об'єктом формує основу для яскравості або темряви на зображенні або фотографіях. Далі відбувається інтерпретація для ідентифікації об'єктів. На ранніх етапах повітряні та супутникові дані є чорно-білими, а подальший прогрес у розвитку сенсорів та кольорової плівки призвів до створення кольорових фотографій та зображень.

Значний прогрес у сенсорних технологіях пов'язаний з поділом спектральних діапазонів електромагнітного випромінювання на кілька смуг, дозволив сенсорам, які працюють у декількох смугах, формувати мультиспектральні зображення. Загалом існує три різні типи продуктів даних, а саме: чорно-біла фотографія (односмугова), нормальний колір і композитне зображення з фальшивим кольором (багатоспектральне). Односмугове зображення відображається у вигляді сірої шкали, але поєднання трьох смуг одночасно генерує кольорові композитні зображення [5].

Інтерпретація – це процеси виявлення, ідентифікації, опису та оцінки значущості зображених об'єктів і закономірностей [5].

Інтерпретація супутникових знімків та аерофотознімків передбачає вивчення різних основних характеристик об'єкта з посиланням на спектральні

діапазони, що є корисним у візуальному аналізі. Основними елементами є форма, розмір, візерунок, тон, текстура, тіні, розташування, асоціації та роздільна здатність.

1. Форма. Зовнішня форма, контур або конфігурація об'єкта. Сюди входять: природні об'єкти (приклад: річка Дністер), штучні об'єкти (приклад: стадіон «Україна»).
2. Розмір. Ця властивість залежить від масштабу та роздільної здатності зображення/фото. Менший об'єкт буде легко виділятися на великомасштабному зображенні/фотографії.
3. Візерунок. Просторове розташування об'єкта у вигляді характерних повторюваних форм.
4. Тінь. Показує контур об'єкта та його довжину, що є корисним для вимірювання висоти об'єкта. Ефект тіні на радарних знімках обумовлений кутом огляду та нахилом місцевості. Вищі об'єкти відкидають більші тіні, ніж нижчі.
5. Тон. Позначає колір або відносну яскравість об'єкта. Зміна тону зумовлена характером відбиття, випромінювання, пропускання або поглинання об'єктів. Загалом гладка поверхня має високий коефіцієнт відбиття, а шорстка поверхня має менший коефіцієнт відбиття. Це явище можна легко пояснити за допомогою інфрачервоних і радіолокаційних знімків.
6. Інфрачервоні знімки. Велика рослинність відбиває інфрачервоне випромінювання набагато сильніше, ніж зелена енергія, і виглядає дуже яскравою на зображенні. Простим прикладом є поява світлих тонів у рослинності та темних тонів у воді. Зокрема, на теплових інфрачервоних зображеннях світлий тон відображає найтеплішу температуру, а темний – найхолоднішу.
7. Радарні зображення. Гладкі поверхні є яскравими, а ділянки, закриті від радіолокаційного сигналу, виглядають темними. Мости і міста мають

дуже світлий тон, а вода, дорожнє покриття і сухе озерне дно мають дуже темний тон.

8. Текстура. Частота зміни тонів. Створює візуальне враження шорсткості або гладкості поверхні об'єктів. Ця властивість залежить від розміру, форми, малюнка та тіні.
9. Розташування об'єкта. Відношення ознаки об'єкта до навколишніх ознак дає змогу ідентифікувати відповідний елемент.
10. Роздільна здатність. Залежить від пристрою для фотографій/зображень, а саме камери або датчика. Розрізняють спектральну та просторову роздільну здатність. Спектральна роздільна здатність допомагає ідентифікувати об'єкт у певних спектральних діапазонах. Висока просторова роздільна здатність зображень/фотографій дає змогу ідентифікувати невеликі об'єкти [5].

Переваги візуальної інтерпретації супутникових знімків:

- простий у застосуванні метод;
- недороге обладнання;
- використання яскравості і просторового змісту зображення;
- якісний;
- конкретність подання даних.

Класифікація супутникових знімків. Процес класифікації супутникових знімків передбачає групування значень пікселів зображення в значущі категорії. Існує декілька методів і прийомів класифікації супутникових знімків.

Методи класифікації супутникових знімків можна умовно поділити на три категорії:

- автоматичні;
- ручні;
- гібридні [6].

Автоматизовані методи класифікації супутникових знімків використовують алгоритми, які систематично застосовують усі супутникові зображення для групування пікселів у значущі категорії. Автоматизовані методи класифікації супутникових знімків поділяються на дві категорії: контрольовані та неконтрольовані методи класифікації.

Ручні методи класифікації супутникових знімків є надійними, ефективними та дієвими методами. Але робота ручним методом займає більше часу у порівнянні з іншими способами. У таких методах аналітик повинен бути добре знайомий з територією, яку покриває супутниковий знімок. Ефективність і точність класифікації залежить від знань аналітика та обізнаності в галузі дослідження [6].

Гібридні методи класифікації супутникових знімків поєднують в собі переваги автоматизованих і ручних методів. Гібридний підхід використовує автоматизовану класифікацію супутникових знімків для первинної класифікації, а подальші ручні методи використовуються для уточнення класифікації та виправлення помилок.

Супутникові знімки відіграють важливу роль у наданні географічної інформації, яка зменшує складність польових робіт і час дослідження.

Технології дистанційного зондування збирають дані/зображення через певні інтервали часу. Обсяги даних, що надходять до центрів обробки інформації, зростають в геометричній прогресії, оскільки технологія розвивається швидкими темпами [6]. Існує гостра потреба в ефективних механізмах для вилучення та інтерпретації цінної інформації з великих масивів супутникових знімків. Класифікація супутникових знімків є зручним методом отримання інформації з величезної кількості супутникових знімків.

Класифікація супутникових знімків включає в себе дешифрування зображень дистанційного зондування, просторового аналізу даних, вивчення різних типів рослинності, (наприклад, сільськогосподарських типів рослинності), а також вивчення міст і визначення різних видів землекористування на певній території.

Класифікація супутникових знімків необхідна для:

- видобування просторових даних;
- вилучення інформації для додатків;
- створення тематичних карт;
- візуального та цифрового дешифрування супутникових знімків;
- польових досліджень;
- ефективного прийняття рішень;
- ліквідації наслідків стихійних лих [7].

Геоінформатика – термін, який використовується для опису низки сучасних інструментів, що сприяють географічному картографуванню та аналізу землі. Ці технології розвивалися в тій чи іншій формі з часу створення перших карт у доісторичні часи. Геоінформатика дозволяє отримувати дані, які стосуються землі, і використовувати їх для аналізу, моделювання, симуляції та візуалізації. ГІС – це основа для збору, управління та аналізу даних, що ґрунтується на географічній науці. ГІС інтегрує багато типів даних, аналізує просторове розташування і організовує шари інформації для візуалізації за допомогою карт і 3D-сцен. ГІС дає змогу більш широко працювати з закономірностями та взаємозв'язками даних.

Геоінформаційні система – це комп'ютерна система, яка аналізує і відображає географічно прив'язану інформацію [7]. Ця система може пов'язувати відповідну інформацію, використовуючи місцезнаходження як ключову індексну змінну. Місцезнаходження або протяжність у земному просторі можуть бути записані у вигляді дати і часу виникнення, а також координат x , y і z , що представляють довготу, широту і висоту, відповідно.

Дистанційне зондування (ДЗ) є потужним інструментом для отримання точної та своєчасної інформації про просторовий розподіл змін у земельному покриві на великих територіях [8]. ГІС забезпечує платформу для збору, зберігання, аналізу та відображення цифрових даних, необхідних для виявлення змін. Зображення дистанційного зондування є найважливішим інформаційним

ресурсом ГІС. Супутникові знімки використовуються для розпізнавання синоптичних даних земної поверхні в часі. Багатий архів і спектральна роздільна здатність супутникових знімків є найважливішими причинами їх використання.

Застосування ГІС як методу оцінки зміни земельного покриття має ряд переваг, а саме:

1. Велике географічне покриття. Дистанційне зондування забезпечує ефективний засіб збору даних з великих географічних територій за короткий час. Цей інструмент дозволяє здійснювати моніторинг змін у навколишньому середовищі та природних ресурсах.
2. Дані в режимі реального часу або близькому до реального часу. Дистанційне зондування надає дані в режимі реального або близькому до реального часу, що дозволяє швидко приймати рішення та реагувати під час надзвичайних ситуацій.
3. Доступ до небезпечних або важкодоступних територій. Дистанційне зондування може збирати дані з важкодоступних або небезпечних територій, таких як зони бойових дій, виверження вулканів або забруднені райони.
4. Багатоспектральна зйомка. Дистанційне зондування може робити знімки з різних кутів і довжин хвиль, надаючи цінні дані про певну територію. Ця функція уможлиблює різні застосування, такі як управління сільським господарством, здобуття корисних копалин і моніторинг навколишнього середовища.
5. Міське планування та оцінка зміни земельного покриття. Дистанційне зондування може надати цінну інформацію для міського планування та оцінки зміни земельного покриття, наприклад, для визначення територій для забудови та планування інфраструктури. Технологія може допомогти в оцінці впливу урбанізації, моніторингу змін у землекористуванні та оптимізації використання ресурсів [8].

Аналіз даних у середовищі R — це процес використання програмного забезпечення R для обробки даних, візуалізації, статистичного аналізу та моделювання. R — це потужний інструмент для обробки даних у багатьох галузях, включаючи геоінформатику. Щоб досліджувати зміни ґрунтового покриву в R, існують різні пакети та функції, які дозволяють виконувати різноманітні завдання, такі як класифікація супутникових зображень, аналіз змін і візуалізація результатів.

Основні аспекти аналізу даних у середовищі R для дослідження змін земельного покриву:

1. Завантаження та обробка даних. Використання таких пакетів, як «raster», дозволяє завантажувати та обробляти супутникові зображення. Можливість виконувати кадрування, повторну вибірку, змінювати проекцію та інші маніпуляції з даними.
2. Класифікація даних. Використання алгоритмів машинного навчання для класифікації супутникових зображень допомагає розрізняти різні типи земельного покриву, наприклад сільськогосподарські угіддя, ліси, водойми тощо.
3. Візуалізація результатів. Використання таких пакетів, як ggplot2 (див.рис.1), дозволяє створювати графіки та карти на основі проаналізованих даних. Це дає змогу краще зрозуміти зміни землекористування та їх розподіл по території.

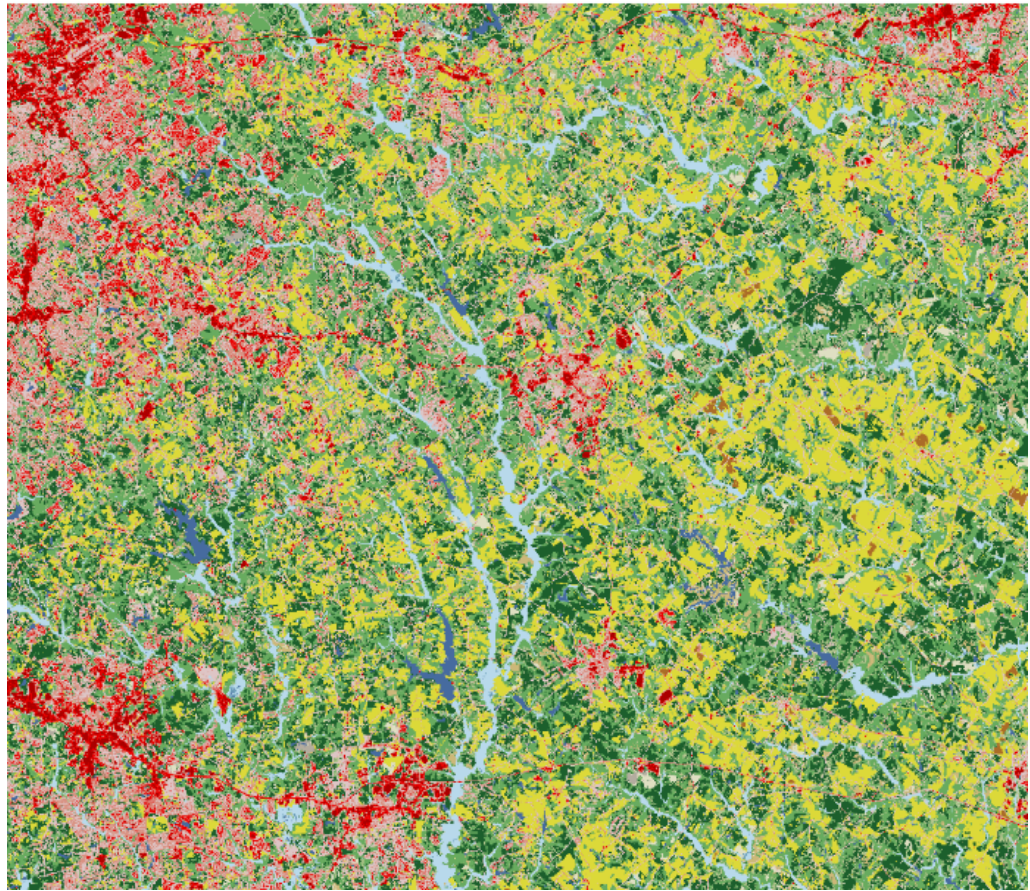


Рис.1.1. Карта земного покриття з унікальними кольорами та позначками для кожного класу земного покриття [9]

4. Статистичний аналіз. Використання статистичних методів дозволяє провести порівняння між різними часовими періодами, оцінити ступінь зміни земельного покриття та визначити статистичну значущість результатів.
5. Моделювання змін. Використання пакетів для просторового моделювання, таких як «spatial», дозволяє передбачити можливі зміни земельного покриття на основі різних сценаріїв розвитку.
6. Геостатистичний аналіз. Використання геостатистичних методів дозволяє аналізувати просторовий розподіл зміни земельного покриття та виявляти закономірності.
7. Спільна робота з геопросторовими даними. R також надає можливість спільної роботи з геопросторовими даними, що дає змогу обмінюватися результатами та спільно вдосконалювати дослідження.

Аналіз даних в середовищі R допомагає отримати високоякісні результати та детальний інсайт щодо змін земельного покриття, їх причин та наслідків.

Моделювання зміни земельного покриття. Моделювання передбачає використання штучних зображень у взаємодії з системою землекористування для дослідження її динаміки та можливого майбутнього розвитку.

У той час як теоретичні підходи зосереджуються на переважно якісному описі системи земельного покриття, моделі вимагають структурного, переважно кількісного аналізу. Допущені помилки стають очевидними в процесі побудови моделей, також можна перевірити чутливість моделей землекористування до змін ключових елементів.

Моделі використовуються в різних галузях, включаючи науку про зміни клімату, для кращого розуміння динаміки систем, розробки гіпотез, які можуть бути перевірені емпірично, а також для прогнозування та оцінки сценаріїв для використання в відповідній діяльності.

У літературі з ландшафтної екології, географії, містобудування, економіки, регіоналістики, інформатики, статистики, геоінформатики та інших галузей описано буквально сотні моделей ЗЗП. Через різні дисциплінарні перспективи, а також різні методологічні підходи, доступність даних і цілі моделювання, спроби класифікувати моделі ускладнюються відносно великою кількістю вимірів, за якими вони досліджуються.

Для підготовки та обробки геопросторових даних зручно використовувати програми просторового моделювання. Прикладами таких програм можуть бути:

1. LanduseSim [10]. ГІС-інструмент для моделювання та імітації зміни ґрунтового покриття. Виконання динамічного моделювання земельних ресурсів з великими очікуваннями. Цей програмний засіб містить функції для проведення масштабного моделювання, такого як прогнозування розростання міст та змін у землекористуванні за допомогою комп'ютерних ітерацій. Використовуючи ПЗ LanduseSim відкривається

можливість забезпечення важливих рамок для процесів міського планування, таких як пояснення змін у землекористуванні/покриві, генерування різних сценаріїв планування, оцінка планів, що розробляються, моделювання планів та надання зворотного зв'язку для глибокого розуміння змін.

Основні можливості ПЗ:

1. Попереднє створення та повторне використання даних ГІС. Ефективніше зробити щось один раз заздалегідь і повторно використати результат, ніж повторювати той самий процес знову і знову. Користувач може створювати всі ГІС-дані, схематичну модель, в іншому ГІС-програмному середовищі, наприклад, ESRI ArcGIS, QGIS, з необмеженою кількістю процесів і використовувати LanduseSim для імітаційної частини.
2. Реальна розробка логіки на основі методології. LanduseSim дозволяє користувачеві зрозуміти і відчувати реальний стан моделювання, а також надає можливість моделювати в просторовій формі. Це також заохочує спеціалістів з просторового планування до нестандартного мислення, перетворення його в певну модель та її реалізації.
3. Гнучкість до багатьох систем планування. LanduseSim не обмежується певною системою планування, більш того, вона є гнучкою і може бути адаптована до багатьох систем в різних країнах. LanduseSim може моделювати просторові сценарії плану, оцінювати існуюче планування, створювати прогнози та постійно оновлюватись для підтримки планування [10].
4. GRASS GIS [11]. Система підтримки аналізу географічних ресурсів, геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом, що надає потужні можливості обробки растрових, векторних та геопросторових даних в єдиному інтегрованому програмному комплексі. GRASS GIS включає в себе інструменти для просторового моделювання, візуалізації растрових і векторних даних, управління та аналізу

геопросторових даних, а також обробки супутникових і аерофотознімків. Вона також надає можливість створювати складну презентаційну графіку та друковані карти.

Переваги GRASS GIS:

1. Безкоштовний ПЗ з відкритим вихідним кодом. GRASS GIS можна безкоштовно завантажити та використовувати, що робить його доступним та економічно ефективним рішенням для приватних осіб та організацій, які потребують роботи з геопросторовими даними.
2. Потужні аналітичні можливості. ПЗ надає широкий спектр інструментів для аналізу та обробки геопросторових даних, включаючи функції просторового моделювання, маніпулювання даними та візуалізації.
3. Інтеграція з іншим програмним забезпеченням. GRASS GIS можна інтегрувати з іншим ГІС та геопросторовим програмним забезпеченням, включаючи QGIS, R та Python, що дозволяє користувачам використовувати сильні сторони різних програмних інструментів у своїй роботі [11].

Отже, вибір методу залежить від конкретних цілей дослідження, доступних даних та рівня точності, який потрібно досягти. Кожен метод має свої переваги та обмеження, і їх варто враховувати при виборі найбільш відповідного підходу.

1.1.3. Методи класифікації земельного покриття

Фізичний покрив, який присутній на земній поверхні, називається ґрунтовим покривом. Він включає ліси, водойми, траву, асфальт, голі землі тощо. Збір даних про земний покрив здебільшого здійснюється за допомогою дистанційного зондування. Потім отримані дані розподіляються на різні типи земного покриття за допомогою процесу класифікації земного покриття. Вибір

методу класифікації земного покриву та його складність залежить від ландшафту, що розглядається. У галузі класифікації земного покриву проводяться різноманітні дослідження, оскільки її застосування поширюється в різних сферах, таких як управління стихійними лихами, міське планування, управління в різних галузях, таких як екологія, дика природа і так далі.

Деякі з поширених методів класифікації земельного покриву включають:

1. Метод максимальної правдоподібності. Основна ідея класифікації за максимальною правдоподібністю полягає в тому, щоб передбачити мітку класу, яка максимізує правдоподібність спостережуваних даних x [13].

Інструмент враховує як середні значення, так і коваріації сигнатур (сукупність назви та формальних параметрів) класів при віднесенні кожної комірки до одного з класів, представлених у файлі сигнатур. Припускаючи, що розподіл вибірки класів є нормальним, клас може бути охарактеризований вектором середнього значення і матрицею коваріацій. Маючи ці дві характеристики для кожного значення клітинки, обчислюється статистична ймовірність для кожного класу, щоб визначити приналежність клітинок до класу. Якщо для апріорного зважування ймовірностей за замовчуванням вказано опцію EQUAL, кожену комірку віднесено до класу, до якого вона має належати.

Якщо ймовірність появи деяких класів вища (або нижча) за середню, слід використовувати опцію FILE з вхідним файлом апріорних ймовірностей. Ваги для класів з особливими ймовірностями задаються в апріорному файлі. У цій ситуації апріорний файл допомагає виділити клітинки, які знаходяться в статистичному перекритті між двома класами. Ці комірки більш точно віднесені до відповідного класу, що призводить до кращої класифікації. Такий підхід до класифікації на основі зважування називається байєсівським класифікатором [13].

При виборі опції SAMPLE, апріорні ймовірності, присвоєні всім класам, відібраним у вхідному файлі сигнатур, пропорційні кількості клітинок, захоплених у кожній сигнатурі. Отже, класи, які мають менше комірок, ніж у

середньому у вибірці, отримують вагу, нижчу за середню, а ті, що мають більше комірок, отримують вагу, вищу за середню. В результаті, відповідні класи мають більше або менше клітин, призначених для них.

Коли виконується класифікація за методом максимальної правдоподібності, можна також створити додатковий растр достовірності результату. Цей растр показує рівні достовірності класифікації. Кількість рівнів довіри дорівнює 14, що безпосередньо пов'язано з кількістю допустимих значень частки відхилень. Перший рівень достовірності, позначений на растрі довіри як 1, складається з комірок з найкоротшою відстанню до будь-якого середнього вектора, що зберігається у файлі вхідного підпису. Отже, класифікація цих комірок має найвищу достовірність. Клітинки з другим рівнем довіри (значення клітинки 2 на растрі) будуть класифіковані лише в тому випадку, якщо частка відмов становить 0,99 або менше. Найнижчий рівень достовірності має значення 14 на растрі, показуючи клітинки, які, швидше за все, будуть неправильно класифіковані. Клітинки цього рівня не будуть класифіковані, якщо частка відхилень становить 0,005 або більше. Якщо немає жодної клітинки, класифікованої з певним рівнем довіри, цей рівень довіри не буде присутній у вихідному довірчому растрі [13].

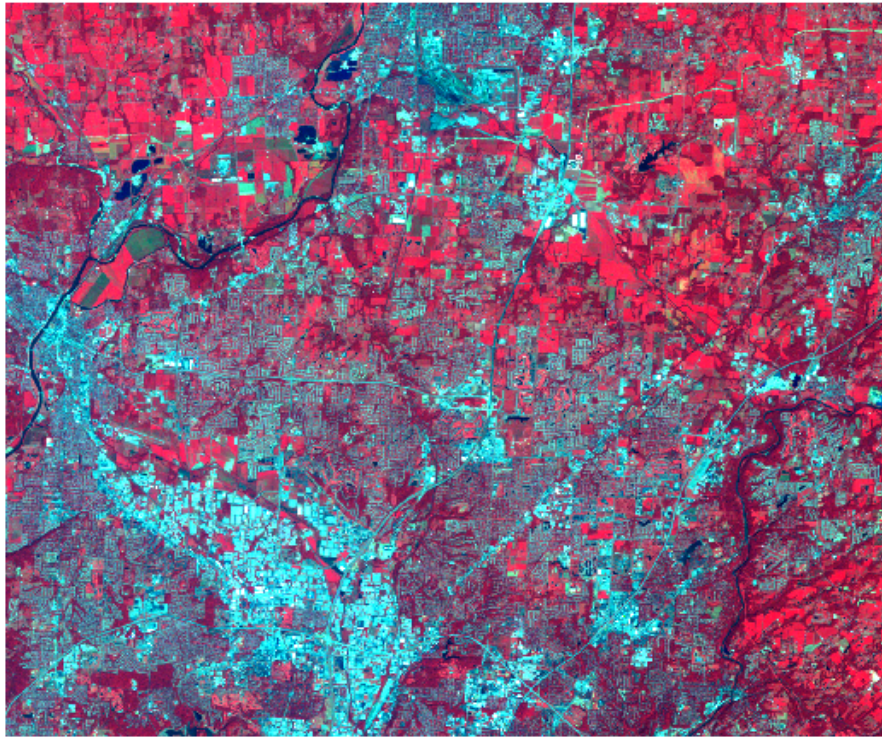


Рис.1.2. Приклад знімка Landsat TM, де смуги 4, 3 і 2 відображаються як неправдоподібні кольори [12]

2. Метод дерев рішень. Непараметричний класифікатор, який не потребує жодних апріорних статистичних припущень щодо розподілу даних. Базова структура дерева рішень складається з одного кореневого вузла, ряду внутрішніх вузлів і набору термінальних вузлів. Дані рекурсивно розподіляються по дереву рішень відповідно до визначеної системи класифікації. У кожному вузлі потрібно застосувати правило прийняття рішень, яке можна реалізувати за допомогою тесту на розщеплення, який часто має вигляд для багатовимірних дерев рішень або просто для одновимірних дерев рішень, де x – вектори вимірювань за n вибраними ознаками, a – вектор лінійних дискримінантних коефіцієнтів, а c – поріг прийняття. Відомо, що ДР дають результати вищої точності порівняно з традиційними підходами, такими як «ящик» та «мінімальна відстань до середнього», але на ефективність ДР може впливати низка факторів, включаючи методи відсікання та підсилення, що використовуються, а також пороги прийняття рішень [14].

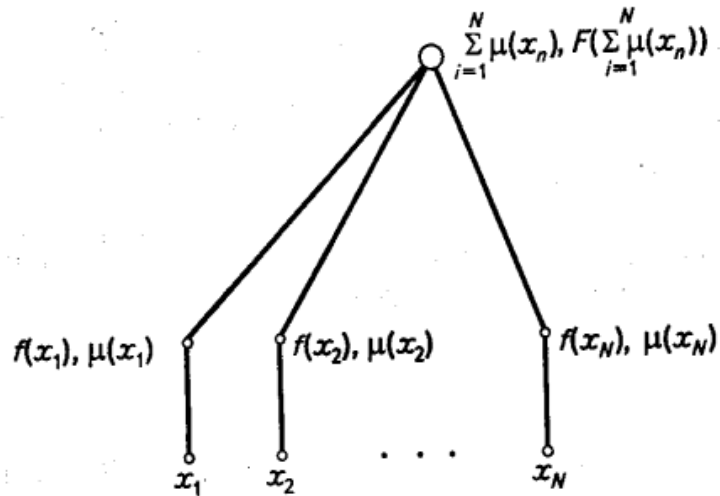


Рис.1.3. Дерево прийняття рішень в еколотоксикологічній класифікації пестицидів [14]

3. Метод сегментації. Сегментація зображень дистанційного зондування є базовою передумовою об'єктно-орієнтованої класифікації. Ефект сегментації зображення безпосередньо впливає на точність результатів класифікації, а поріг сегментації є прямим фактором, що впливає на ефект сегментації. Тому дуже важливо дослідити відповідний поріг сегментації для досліджуваної області [15].

Сегментація зображень часто використовується для виявлення об'єктів. Замість того, щоб обробляти все зображення, зазвичай спочатку використовують алгоритм сегментації зображення, щоб знайти на ньому об'єкти, які цікавлять. Потім детектор об'єктів може працювати в обмежувальній рамці, вже визначеній алгоритмом сегментації. Це позбавляє детектор необхідності обробляти все зображення, підвищуючи точність і скорочуючи час виведення.

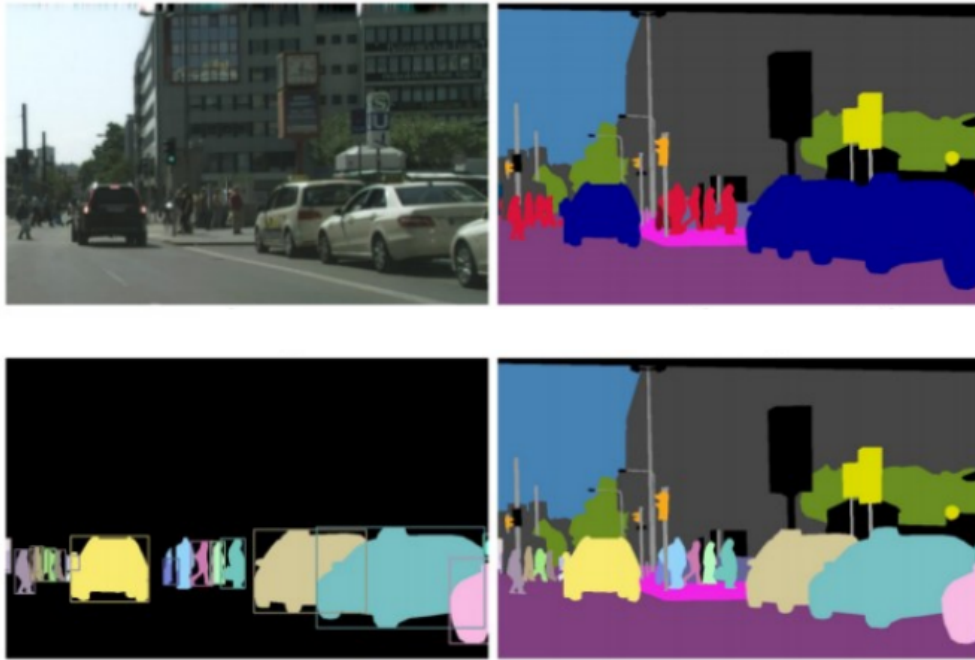


Рис.1.4. Сегментація зображення [15]

Отже, вибір конкретного методу залежить від завдань дослідження, характеристик даних та рівня точності, який потрібно досягти. Кожен метод має свої переваги і обмеження, які слід враховувати при виборі підходу для класифікації земельного покриття.

1.2. Геоінформаційні системи та їх застосування

1.2.1. Основні поняття та функції геоінформаційної системи

Географічна інформаційна система (ГІС) – це комп'ютерна система для збору, зберігання, перевірки та відображення даних, пов'язаних з положенням на поверхні Землі [16].

Технологія ГІС є важливою частиною інфраструктури просторових даних. ГІС може використовувати будь-яку інформацію, що включає місцезнаходження. Місцезнаходження може бути виражене багатьма різними способами, наприклад, широтою і довготою, адресою або поштовим індексом.

За допомогою ГІС можна порівнювати і зіставляти багато різних типів інформації. Система може включати дані про людей, такі як чисельність населення, дохід або рівень освіти. Вона може містити інформацію про ландшафт, наприклад, розташування струмків, різних видів рослинності та різних типів ґрунту [16].

Використовуючи ГІС-технології з'явилася можливість порівнювати розташування різних об'єктів, щоб з'ясувати, як вони пов'язані між собою. Наприклад, за допомогою ГІС на одну карту можна нанести об'єкти, які є джерелом забруднення (заводи, та об'єкти, які є чутливими до забруднення). Така карта може допомогти визначити, де джерела водопостачання перебувають у найбільшій небезпеці.

Складові ГІС:

1. Апаратне забезпечення. Комп'ютер, на якому працює програмне забезпечення ГІС. На сьогоднішній день існують різні типи комп'ютерів, це можуть бути настільні або серверні комп'ютери. ArcGIS Server – це серверний комп'ютер, на якому працює програмне забезпечення ГІС на мережевому комп'ютері або в хмарі.

2. Програмне забезпечення. Надає інструменти для запуску та редагування просторової інформації. ПЗ допомагає запитувати, редагувати, запускати та відображати дані ГІС. Для зберігання даних використовується СУБД (система управління реляційними базами даних). Наприклад: ArcGis, ArcView 3.2, QGIS, SAGA GIS.
3. Дані. Географічні дані та пов'язані з ними табличні відомості можуть бути зібрані самостійно, скопільовані відповідно до індивідуальних специфікацій та вимог, або придбані у комерційного постачальника даних. ГІС може інтегрувати просторові дані з іншими існуючими інформаційними ресурсами, які часто зберігаються в корпоративній системі управління базами даних. Ці дані можна умовно класифікувати як: атрибутивні, просторові дані, дані дистанційного зондування, глобальна база даних [17].
4. Люди. Технологія ГІС використовується величезною кількістю людей, що займаються промисловістю та установ для планування, проектування, інжинірингу, створення та підтримки інформаційної інфраструктури, яка впливає на повсякденне життя.
5. Методи або процедури. Визначені, послідовні процедури, необхідні для отримання точного, відтворюваного результату. Ретельно продуманий план впровадження та бізнес-правила є моделями, а операційні практики є унікальними для кожної організації [17].

Функції ГІС:

1. Збір даних. Введення даних до ГІС може бути досягнуто за допомогою багатьох різних методів збору. Наприклад, аерофотозйомка, сканування, оцифрування, глобальна навігаційна супутникова система – це лише кілька способів, якими користувач ГІС може отримати дані. Оцифрування: Процес перетворення паперових карт в цифрові дані, які можна зберігати в комп'ютері. Оцифрування спрощує картографічні дані до наборів точок, ліній або комірок, які можна зберігати в комп'ютері

ГІС. На цьому етапі здійснюється оцифрування. Існує два основних методи оцифрування: ручне оцифрування та сканування [18].

2. Зберігання даних. Відомості можуть зберігатися у різному вигляді (паперові карти, цифрові дані, друкована копія, збереження на компакт-диску або на жорсткому диску). Після того, як дані оцифровані, файли цифрових карт в ГІС зберігаються на магнітних або інших цифрових носіях. Зберігання даних базується на загальній моделі даних, яка використовується для перетворення картографічних даних у цифрову форму. Два найпоширеніші типи моделей даних – растрові та векторні. Обидва типи використовуються для спрощення даних, показаних на карті, до більш простої форми, яку можна легко і ефективно зберігати в комп'ютері.
3. Маніпуляція даних. Цифрові географічні дані можна редагувати, що дозволяє додавати або видаляти багато атрибутів до специфікації проекту. Після того, як дані зберегли в ГІС, користувачам стає доступно багато варіантів маніпуляцій з ними. Ці функції часто доступні у вигляді «наборів інструментів». Набір інструментів – це набір загальних функцій, які користувач ГІС може застосовувати для маніпулювання та аналізу географічних даних. Інструментарій забезпечує такі функції обробки: пошук даних, вимірювання площі та периметра, накладання карт, виконання обчислень карт і перекласифікація картографічних даних. Інструменти маніпулювання даними включають зміну координат, проекції та узгодження країв, що дозволяє ГІС узгоджувати нерівності між шарами карти або суміжними аркушами карти, які називаються плитками [18].

1.2.2. Використання ГІС для картографування

Карти – один з найефективніших способів представлення даних. Вони показують: місце проживання, маршрут та точки зустрічі.

Історично складання карт було ручною роботою, яка вимагала твердої руки, зосередженої уваги до деталей і великого терпіння. На сьогоднішній день, для швидкого та якісного створення таких карт, доречно використовувати ГІС.

ГІС-картографування перетворює географічні дані на цифрові карти, які допомагають користувачам легко виявляти закономірності, тенденції та взаємозв'язки. ГІС-картографію застосовують у міському плануванні, аналізі впливу на навколишнє середовище, управлінні активами та багатьох інших галузях, які використовують географічні дані.

Картографування ГІС – це процес введення шарів даних у програмне забезпечення ГІС для створення карти. Карты надають користувачам інформацію, яку не можуть відобразити самі по собі необроблені дані. Це пов'язано з тим, що люди краще засвоюють інформацію, дивлячись на візуальне представлення даних, а не на числовий набір даних; як наслідок, ГІС-картографування, яке перетворює дані на карти, є найефективнішим способом відображення географічних даних [19].

Найбільша перевага ГІС-картографії полягає в тому, що вона, виконує всю роботу за користувача. Більшість ГІС-програм пропонують користувачам розділ для введення всіх числових даних для відображення на карті. Відповідна карта оновлюється в режимі реального часу, щоб відобразити ці дані.

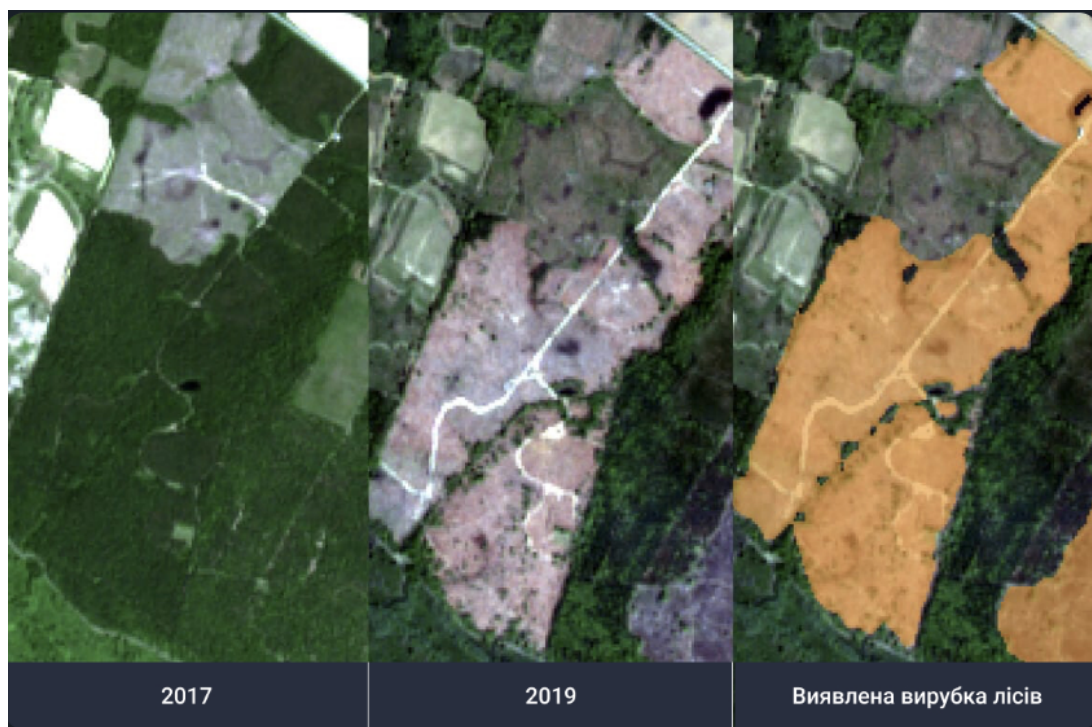


Рис.1.5. Картографування ділянки, що зазнала вирубки лісів [19]

Види ГІС-карт:

1. Класифікаційні карти – це один з найпростіших способів показати, які сегменти контролюють частину карти. За допомогою програмного забезпечення ГІС можна класифікувати категорію і ввести відповідні дані (кількість ділянок з вирубаними лісами). Потім користувач обирає колір для представлення кожної категорії, і дані з'являються на карті [19].
2. Теплові карти (також відомі як кількісні карти) включають системи кольорового кодування для відображення числової щільності на певній території. Теплові карти – це ефективний спосіб легко пов'язати числові дані при роботі з великою кількістю даних. Такі карти є простими для розуміння: чим більше число в наборі даних, тим темнішим кольором воно позначається на карті. Це дозволяє легко визначити тенденції та закономірності на основі відтінку кольору. Хорошим прикладом використання теплових карт є відображення щільності насадження хвойних дерев на певній території.

3. Кластерні карти – спосіб для демонстрації щільності певної категорії об'єктів на території. Такі карти, зазвичай, використовують для пошуку будинків або квартир за допомогою сервісу оголошень. Як правило, сервіс оголошень використовує кластери для відображення доступних об'єктів нерухомості в певному районі, що дає покупцеві краще уявлення про всю структуру району [19].
4. Бульбашкові карти. Символізація шарів для представлення кількості даних, оскільки вона працює так само, як і кількісна карта. Бульбашкова карта використовує ряд кольорових бульбашок різного розміру щоб візуалізувати дані. Карта показує кругові маркери для точок, ліній та полігональних об'єктів різного розміру. Розміри бульбашок базуються на вибраному числовому значенні атрибута із завантаженого користувачем шару.

ГІС-картографування містить різноманітні інтерактивні інструменти. Ці інструменти призначені для підвищення наочності даних, представлених на карті.

1. Інформація про місцезнаходження або цікаві місця. Ключовою особливістю ГІС-картографії є можливість виділяти на карті точки цікавих місць та надавати таку інформацію, як фотографії, номери телефонів та адреси компанії. Це дає користувачеві краще уявлення про те, як насправді виглядає місце розташування і як зв'язатися з потрібною людиною.
2. Пошукові запити. Більшість картографічних програм ГІС пропонують функцію, відому як інструмент запитів. Інструмент запитів дозволяє кінцевим користувачам фільтрувати набір даних, щоб знайти конкретну відповідь на своє запитання. Наприклад, запит: «показати всі магазини компанії, які відвідують понад 1 000 клієнтів на день». Потім ГІС-система формує відповідь на основі даних, які вже є в системі. Інструмент запитів – спосіб екстраполювати більше інформації з уже наявних даних.

Переваги ГІС-картографування:

1. Розуміння та візуалізація геопросторових даних. Однією з ключових переваг ГІС є її здатність візуалізувати геопросторові дані. Ці дані можуть бути як демографічною інформацією так і кліматичними даними, і їх можна використовувати для створення карт і візуального представлення складної інформації. Візуалізуючи ці дані в геопросторовому контексті, система може забезпечити розуміння взаємозв'язків і закономірностей, які існують у навколишньому світі [20].
2. Оптимізація планування та прийняття рішень. Надаючи платформу для зберігання та аналізу великих обсягів даних, ПЗ дозволяє приймати обґрунтовані рішення з широкого кола питань. Ці дані можна використовувати для виявлення тенденцій, закономірностей і взаємозв'язків, які було б важко побачити в інший спосіб.
3. Покращення рівня швидкості реагування на надзвичайні ситуації та управління катастрофами. Надаючи в режимі реального часу інформацію про місце і масштаби катастрофи, ГІС може допомогти службам швидкого реагування якісно оцінити ситуацію і прийняти обґрунтовані рішення щодо найкращого способу дій.
4. Покращення екологічного менеджменту. ГІС є незамінним інструментом в управлінні навколишнім середовищем. Надаючи платформу для зберігання, аналізу та візуалізації екологічних даних, ГІС може допомогти зрозуміти вплив людської діяльності на навколишнє середовище та прийняти обґрунтовані рішення для пом'якшення цього впливу [20].

Отже, використання геоінформаційних систем (ГІС) для картографування є важливою та невід'ємною частиною сучасної географічної практики. ГІС надає інструменти для ефективного обробки, аналізу та візуалізації геопросторових даних, що дозволяє створювати надійні та якісні картографічні продукти.

1.3. Використання супутникових зображень для картографування

Карти земного покриву, отримані на основі супутникових знімків, відіграють ключову роль у глобальних, регіональних, національних та субнаціональних оцінках земного покриву. Такі карти доступні в різних форматах даних і просторовій роздільній здатності для задоволення різних потреб користувачів. Розмір території та деталізація картографування мають важливе значення для вибору відповідного супутникового знімка.

В даний час супутники показують Землю як одне ціле, надаючи безперервні зображення з дрібними деталями. Ця можливість дозволила актуалізувати різні галузі, такі як сільське господарство, управління дорожнім рухом та міський розвиток, в режимі реального часу. Однак, ці дані потребують обробки для виведення їхньої семантики.

Використання супутникових зображень є важливою складовою сучасної картографії, що дозволяє створювати детальні та точні картографічні продукти, що містять геопросторову інформацію. Супутникові знімки дають можливість отримувати об'єктивні дані про земний покрив, необхідні для різноманітних географічних досліджень і практичного застосування [21].

Однією з переваг супутникової зйомки є покриття всієї території. В результаті можна отримати дані про стан і властивості різних об'єктів на всій досліджуваній території. Крім того, супутникові знімки можна отримати в різний час, що дозволяє вивчати зміни земного покриву та їх динаміку.

1.3.1. Роль супутникових зображень у вивченні земельного покриву

Супутникові знімки та ГІС-карти земного покриву і змін у землекористуванні є ключовими для багатьох різноманітних застосувань, таких

як охорона навколишнього середовища, лісове та сільське господарство, гідрологія та геологія. Програми управління природними ресурсами, планування та моніторингу залежать від точної інформації про рослинний покрив у регіоні. Методи моніторингу змін рослинного покриву варіюються від інтенсивного польового відбору зразків з інвентаризацією ділянок до широкого аналізу даних дистанційного зондування, які виявилися більш економічно ефективними для великих регіонів, оцінки та аналізу невеликих ділянок [22].

Аналізуючи супутникові знімки можна отримати автоматизовані набори даних супутникових карт для аналізу рослинності та використання ґрунтового покриву, оновивши прогнозовану ділянку і додавши більш свіжий знімок, щоб визначити зміни і оновити існуючі алгоритми штучного інтелекту і машинного навчання.

Оцінка статичних атрибутів ґрунтового покриву (типів, кількості та розташування) і динамічних атрибутів (типів і темпів змін) на даних супутникових знімків, може дозволити регіоналізувати типи змін, визначити приблизні джерела цих змін і використовувати їх у системах управління комп'ютерним зором.

Супутникові знімки з середньою та високою роздільною здатністю сприяють науковим дослідженням на ландшафтному та регіональному рівнях. Доступність супутникових знімків може забезпечити просторову роздільну здатність до 30 см для аналізу зростання міст і розвитку транспорту з метою оцінки та моніторингу. Більше того, мультиспектральні діапазони можуть забезпечити підвищену спектральну роздільну здатність, яку можна використовувати для подальшого аналізу і класифікації екологічних умов, виявлення ґрунтового покриву і змін [22].

Аналіз супутникових карт дозволяє здійснювати:

- швидкий і точний огляд об'єктів;
- кількісну оцінку зеленої рослинності;
- характеристики ґрунту, що лежить в основі.

Дані з супутникових знімків відіграють невід'ємну роль в оцінці стану довкілля. Дистанційне зондування ніколи не замінить польові роботи, але воно надає велику підтримку в:

- віддалених і важкодоступних районах таких як густі ліси, зледенілі території, болота, високогір'я тощо;
- територіях, що зазнають швидких змін;
- країнах з поганою інфраструктурою та обмеженим транспортним сполученням;
- зони природних небезпек: затоплені території, зони активних вулканічних пожеж тощо;
- побудові загального огляду або детальної карти великої території [22].

Методи дистанційного зондування можуть збільшити швидкість аналізу ландшафту, а отже, допомогти приймати швидкі та цілеспрямовані рішення.

Сфери застосування:

1. Сільське та лісове господарство:

- розпізнавання рослинності, культур та типів деревини;
- вимірювання площ посівів і лісопосадок;
- оцінка врожайності сільськогосподарських культур;
- вимірювання змін у лісовому покриві;
- оцінка впливу посухи;
- визначення стану ґрунту.

2. Картографування зміни земельного покриву та економічне планування:

- картування та моніторинг змін ґрунтового покриву. Супутникові знімки дозволяють виявити зміни земного покриву на різних етапах. Це можуть бути зміни, викликані природними процесами, які можна виявити за допомогою аналізу змін розмірів водойм, лісів та інших особливостей. Також можна виявити зміни, пов'язані з діяльністю людини, такі як розширення міст, вирубка лісів, зміни в сільськогосподарському використанні тощо;

- моніторинг зростання міст. Моніторинг розвитку міст за допомогою супутникових знімків є важливим інструментом для вивчення та аналізу процесів розвитку міст. Супутникова зйомка дає можливість отримати об'єктивні та детальні дані про зміни в інфраструктурі, розмірі, розташуванні та характері міських об'єктів;
- карта кордонів між сушею та водою. Картографування кордонів між сушею та водою за допомогою супутникових зображень є однією з найпопулярніших ініціатив у географічних дослідженнях та міському плануванні. Супутникова зйомка дає можливість отримати детальні та об'єктивні дані про положення природних об'єктів і географічних об'єктів на поверхні землі;
- розміщення електростанцій та інших промислових об'єктів. Картографування розташування електростанцій та інших промислових об'єктів за допомогою супутникових зображень є цінним інструментом для аналізу та планування енергетичної та промислової інфраструктури. Використання супутникових знімків дозволяє оцінити розташування, розмір, зв'язок і взаємодію з іншими об'єктами [22].

Отже, супутникові зображення відіграють істотну та надзвичайно важливу роль у вивченні ґрунтового покриву. Їх можливості дозволяють отримувати об'єктивні, точні та детальні дані про структуру та динаміку земних елементів. Завдяки супутниковим знімкам дослідники, географи, природоохоронні учасники та планувальники мають можливість краще зрозуміти зміни, що відбуваються на поверхні Землі.

1.3.2. Характеристика супутникових знімків, їх типи

Супутникові знімки класифікують на три типи залежно від їх використання в метеорології та кліматології:

На основі використання в метеорології:

1. Видимі знімки. Такі знімки показують ландшафт і атмосферу у видимому спектрі з довжиною хвилі 0,4-0,7 мікрона (мкм). Супутники можуть фіксувати особливості земної поверхні лише вдень, використовуючи цей спектр. На видимих знімках легко побачити сніговий покрив, хмарність, туман і водойми. Біла область на видимих знімках – це сніг і хмари, але їх можна легко розрізнити. На вкритих снігом територіях є річки та озера, тоді як хмари виглядають просто білими. Водойми мають чорний колір. Ці метеорологічні властивості видимих зображень роблять їх дуже корисними для прогнозування погоди та раннього попередження про циклони і грози [23].
2. Інфрачервоний спектр. Такий спектр невидимий для людського ока і має довжину хвилі від 0,7 мкм до 1 мм. На відміну від видимих зображень, інфрачервоні сенсори можуть робити знімки як вдень, так і вночі. Вони найбільш чутливі до зчитування теплових сигнатур на поверхні землі. Тому інфрачервоні датчики можуть відчутти будь-який об'єкт, що випромінює тепло. Інфрачервоні зображення можна використовувати для моніторингу рослинного покриву, типу рослинності, лісових пожеж, глобального потепління, забруднення повітря, кількості вуглекислого газу в атмосфері, міських теплових островів, хмарності тощо. В атмосферних науках інфрачервоні датчики не дають інформації про регіони з ясним небом. Тому метеорологи використовують спеціальний тип супутникових знімків – зображення водяної пари.
3. Зображення водяної пари. Зображення створюються за допомогою ближнього інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі 7,3 мкм. Цей діапазон дуже чутливий до наявності вологи в повітрі. Тому зображення водяної пари показують стан атмосфери навіть за відсутності хмарності, туману, снігу тощо. За допомогою зображень

водяної пари легко відстежувати напрямок і швидкість вітру, навіть коли небо виглядає чистим на видимих та інфрачервоних знімках [22].

На основі спектральної роздільної здатності:

1. Моноспектральні знімки. Знімки створюються з використанням одного діапазону електромагнітного спектра. Моноспектральні датчики фіксують будь-яку з рентгенівських, ультрафіолетових, видимих, інфрачервоних, мікрохвильових і радіохвиль. Таким чином, моноспектральні зображення використовують для цілеспрямованих цілей. Наприклад, можна розрізнити широколистяний та хвойний рослинний покрив, використовуючи довжину хвилі 0,76 мкм в інфрачервоному спектрі. Широколистяні рослини мають більшу відбивну здатність у цьому діапазоні, ніж хвоя [7].
2. Мультиспектральна зйомка. Така зйомка використовує 3-10 діапазонів для отримання одного зображення. У цьому типі знімків кілька датчиків фіксують зображення в різних діапазонах електромагнітного спектра, наприклад, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому тощо. Видимий спектр сам по собі є великим спектром з фіолетовим, індиго, синім, зеленим, червоним, помаранчевим і жовтим кольорами. Аналогічно, інфрачервоні хвилі також мають багато типів, наприклад, ближній інфрачервоний, короткохвильовий інфрачервоний, довгохвильовий інфрачервоний тощо.

Отже, зображення, яке показує багато менших смуг більшого типу спектра, також є мультиспектральним. Такі знімки використовують, тому що один діапазон не в змозі відчутти кожен об'єкт на земній поверхні. Коли потрібно вивчати процеси на земній поверхні у взаємозв'язку один з одним, використовують мультиспектральні знімки. Наприклад, аналізуючи взаємозв'язок між засоленістю ґрунту та зрошенням, потрібні два різні діапазони, які можуть відчувати засоленість ґрунту, а також воду.

3. Гіперспектральна зйомка. Знімки використовують понад 10 діапазонів спектра, що розширюються до сотень. Гіперспектральні сенсори

здатні розрізняти більш тонкі довжини хвиль в межах невеликого діапазону. Смуги на мультиспектральних знімках ширші, ніж на гіперспектральних [7].

Наприклад, мультиспектральний датчик, що використовує синю довжину хвилі, покаже кожен синій об'єкт на землі синім кольором. Він не відрізнятиме різні відтінки синього кольору один від одного. Гіперспектральний датчик, навпаки, може розрізняти різні відтінки синього, оскільки він здатен відчувати менші довжини хвиль у синьому діапазоні.

Отже, в електромагнітному спектрі існують тисячі діапазонів. Користувачі можуть використовувати як одну, так і декілька довжин хвиль для отримання супутникового зображення. Вибір довжини хвилі залежить від мети дослідження. Збір та зберігання даних дистанційного зондування забирає багато економічних ресурсів, тому дослідникам потрібно збирати лише певні типи даних. Непотрібний збір даних на різних довжинах хвиль призводить до марного витрачання ресурсів.

1.3.3. Методи обробки супутникових знімків

Обробка супутникових зображень є важливим кроком у використанні даних для аналізу та картографування. Він включає ряд операцій, які покращують якість зображення, відокремлюють інформацію від фону та готують дані для подальшого вивчення.

Методи обробки супутникових знімків:

1. Геометрична корекція. Супутникові знімки містять ряд геометричних спотворень, які є аспектами процедури запису даних, а також форми та обертання Землі. Тому нескоригований знімок матиме іншу геометрію, ніж карта, і, відповідно, його буде важко сумісно використовувати [24].

Геометрична корекція – це процес виправлення спотворень і надання зображенню властивостей (і практичної цінності) карти [24]. Геометрія

зображення повинна бути викривлена так, щоб вона відповідала геометрії необхідної картографічної проекції, а система координат повинна бути створена таким чином, щоб користувач міг або запитати точку на зображенні і знайти її справжню координату, або ввести координати польової ділянки і знайти її на зображенні.

Геометрична корекція необхідна, якщо:

- знімки потрібно порівнювати з польовими даними або картами;
- дані знімків потрібно порівнювати з іншими просторовими даними (наприклад, у ГІС);
- на основі даних знімків потрібно оцінити площу або відстань;
- на двох знімках, що зроблені в різний час, потрібно порівнювати пікселі.

2. Ректифікація. Геометрична ректифікація супутникових знімків

дистанційного зондування Землі – це процес проектування одного вихідного зображення в певну систему координат, усунення геометричних спотворень вихідного зображення і отримання нового зображення, яке задовольняє вимогам картографічної проекції або графічного виразу. Процес ректифікації необхідний для того, щоб зорієнтувати супутниковий знімок на плоску поверхню і зробити його геометрію планіметричною. Він встановлює зображення в правильному просторовому положенні та орієнтації для подальшого кількісного аналізу [24].

3. Фільтрація та покращення. Методи фільтрації та покращення є важливою частиною обробки супутникових зображень. Вони можуть зменшити шум, покращити якість зображення та підкреслити певні об'єкти чи деталі на фотографіях.

Способи фільтрації та покращення:

- згладжування і розмиття;
- згущення;
- усереднення;

- підсилення різких країв;
- видалення шумів;
- фільтри згладжування за часом.

Фільтрація – це процес, за допомогою якого можна змінювати властивості оптичного зображення, вибірково видаляючи певні просторові частоти, з яких складається об'єкт, наприклад, фільтрація відеоданих, отриманих із супутників і космічних зондів, або видалення растру з телевізійного зображення чи сканованого зображення [25].

4. Класифікація. Класифікація є важливою частиною обробки супутникових зображень і дозволяє автоматично розподіляти зображення на різні класи або категорії на основі їхніх властивостей або характеристик. Це завдання є основним для збору інформації про розподіл об'єктів на зображенні та вивчення їх характеристик.

Методи класифікації:

- контрольована класифікація. Користувач або аналітик зображень «контролює» процес класифікації пікселів. Користувач вказує різні значення пікселів або спектральні характеристики, які мають бути пов'язані з кожним класом. Це робиться шляхом вибору репрезентативних зразкових ділянок з відомим типом покриття, які називаються навчальними ділянками або областями;
- неконтрольована класифікація. Мета алгоритму неконтрольованої класифікації – згрупувати записи в набір класів таким чином, щоб компоненти певного класу були схожі один на одного і відрізнялися від компонентів усіх інших класів;
- семантична сегментація. Для кожного пікселя вхідного зображення відбувається присвоєння відповідної мітки;
- об'єктно-орієнтована класифікація. Класифікація використовує як спектральну, так і просторову інформацію для роботи. Процес включає

категоризацію пікселів на основі їхніх спектральних характеристик, форми, текстури та просторового зв'язку з навколишніми пікселями [25].

5. Трансформація. Трансформації зображень зазвичай передбачають маніпуляції з декількома діапазонами даних, з одного мультиспектрального зображення, чи більше зображень однієї і тієї ж ділянки, отриманих у різний час (тобто різночасових даних). У будь-якому випадку, перетворення зображень створюють «нові» зображення з двох або більше джерел, які виділяють певні особливості або властивості, що потрібні для роботи.

У базовій трансформації зображень застосовують прості арифметичні операції до даних зображення. Віднімання зображень часто використовується для виявлення змін, які відбулися між об'єктами, зібраними в різні періоди. Зазвичай використовують два зображення, які були геометрично зареєстровані, при цьому значення пікселів (яскравості) на одному зображенні віднімають від значень пікселів на іншому. Масштабування отриманого зображення шляхом додавання константи до вихідних значень дасть змогу отримати відповідне «різницеве» зображення. На такому зображенні ділянки, де між вихідними зображеннями майже не відбулося змін, матимуть значення яскравості близько 127 (середні сірі тони), тоді як ділянки, де відбулися значні зміни, матимуть значення вище або нижче 127 – яскравіші або темніші, залежно від «напрямку» зміни відбивної здатності між двома зображеннями. Цей тип трансформації зображень може бути корисним для картографування змін у міській забудові навколо міст і для виявлення ділянок, де відбувається вирубка лісів [23].

Отже, методи обробки супутникових зображень мають головну роль у дослідженні геопросторових даних та аналізі ґрунтового покриву. За допомогою різних методів обробки, супутникові зображення можна перетворити на джерела інформації, які надають важливі дані для прийняття рішень у різних сферах, включаючи екологію, землекористування, та геопросторове планування.

Висновки до розділу 1

Отже, у першому розділі було описано різні методи вивчення та аналізу зміни земельного покриття, включаючи аналіз часових рядів, виявлення змін, класифікацію тощо. Ці методи дають цінну інформацію про динаміку зміни земельного покриття.

Використання супутникових знімків є дуже важливим для картографування земельного покриття. Супутникові зображення надають важливі дані про водні ресурси, землекористування, топографію та інші аспекти земного покриття. Вони є цінним інструментом для розуміння змін у навколишньому середовищі та вирішенні різноманітних геоінформаційних завдань.

Геоінформаційні системи відіграють важливу роль у картографуванні ґрунтового покриття за допомогою супутникових знімків. ГІС дозволяють створювати карти, інтегрувати різні шари географічних даних та виконувати аналіз на основі просторових даних.

Картографування ґрунтового покриття за допомогою супутникових знімків відображає важливість і потенціал використання супутникових даних у геоінформатиці та картографії. Вивчення цієї теми надає фундаментальні методи аналізу ґрунтового покриття та знання, що допомагають вирішити актуальні проблеми сучасного світу.

РОЗДІЛ 2 ПІДГОТОВКА ТА ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

2.1. Програмне середовище Google Earth Engine для супутникових знімків

Google Earth Engine (GEE) – це хмарна обчислювальна платформа, яка використовує інфраструктуру Google для полегшення доступу до геопросторових даних та їх обробки [26]. Для доступу до цієї платформи потрібен обліковий запис, також програма є безкоштовною для освітніх та дослідницьких цілей.

GEE має великий каталог у петабайтному масштабі. ПЗ збирає інформацію з супутників Landsat, Sentinel та MODIS, а також дані про кліматичні моделі, температуру та геофізичні характеристики [26]. Зручний інтерфейс має редактор коду, який є інтегрованим середовищем розробки (IDE) для розробки алгоритмів за допомогою мови програмування JavaScript. JS має графічне вікно, у якому користувач може бачити процеси, що виконуються. Крім того, GEE може працювати у Python та інших середовищах через бібліотеку Earth Engine, а також R. Використання цього ПЗ дозволяє вводити місцеві дані та експортувати інформацію для подальшої обробки або візуалізації в програмному забезпеченні географічних інформаційних систем (ГІС), таких як QGIS та ArcGIS Pro.

Google Earth Engine – це масштабний каталог, який надає користувачам геопросторові аналітичні можливості та потенціал для розробки власних персоналізованих сайтів і аналітичних інструментів, якими можна ділитися з багатьма іншими. Існує можливість для дослідників – співпрацювати та завантажувати власні персоналізовані дані.

Для того, щоб розпочати будь-який аналіз даних дистанційного зондування, потрібно виконати такі кроки:

1. Визначити місцезнаходження джерела зображення.
2. Визначити місце аналізу (шлях/ряд, довгота+широта і т.д.).
3. Знайти сцени з відповідними атрибутами (дата, хмарність тощо).
4. Завантажити або запросити сцену(и).
5. Компілювати смуги в одне зображення.

Процес отримання даних може тривати від кількох хвилин до кількох годин, залежно від характеру даних і досвіду користувачів у роботі з програмним забезпеченням. Унікальність GEE полягає в тому, що вона зосереджується на аналізі, усуваючи кроки, необхідні для каталогізації, організації та обробки зображень дистанційного зондування.

GEE містить понад 29 петабайт (1 петабайт = 1 мільйон гігабайт) каталогізованих наборів растрових і векторних даних. Ці дані щодня автоматично оновлюються командою Google Earth Engine, а нові набори даних додаються щомісяця.

Застосування Google Earth Engine у дослідженнях земельного покриття:

1. GEE дозволяє використовувати інструменти для класифікації ґрунтового покриття, аналізу змін покриття та вивчення динаміки ландшафту в різних масштабах.
2. Підтримка розробки та використання спеціальних сценаріїв JavaScript, що розширює можливості аналітики.
3. GEE є потужним інструментом для моніторингу навколишнього середовища, лісового покриття, сільськогосподарських угідь та інших змін земельного покриття [27].

За допомогою Google Earth Engine дослідники та аналітики можуть виконувати ефективний аналіз супутникових зображень для вирішення різних завдань, пов'язаних із моніторингом та картографуванням ґрунтового покриття.

Це відкриває нові можливості для вивчення змін у природному середовищі та плануванні землекористування.

Переваги використання Google Earth Engine:

1. Швидкий доступ до великих обсягів супутникових даних без завантаження й обробки на локальному комп'ютері.
2. Здатність використовувати масштабні обчислення для обробки великих обсягів даних.
3. Інтерактивність і можливість перегляду результатів аналізу на карті [27].

Отже, GEE є потужним інструментом для аналізу та обробки супутникових зображень. GEE надає зручний доступ до обширних геопросторових даних, розширює аналітичні можливості та дозволяє вивчати та моніторити земельний покрив на великих територіях.

2.1.1. Характеристика програмного середовища та мови програмування JavaScript

JavaScript – це легка, кросплатформенна, однопоточна, інтерпретована скомпільована мова програмування [28]. Вона також відома як мова сценаріїв для веб-сторінок. Використовують для розробки веб-сторінок і небраузерних середовищ.

JavaScript є слабкотипізованою мовою (динамічно типізованою). JavaScript можна використовувати як для клієнтських, так і для серверних розробок. JavaScript є як імперативною, так і декларативною мовою. Ця мова містить стандартну бібліотеку об'єктів, таких як масив, дата та математичні функції, а також основний набір мовних елементів, таких як оператори та керуючі структури.

На стороні клієнта: надає об'єкти для керування браузером та його об'єктною моделлю документа (DOM). Наприклад, клієнтські розширення дозволяють додатку розміщувати елементи на HTML-формі та реагувати на події користувача, такі як клацання мишею, введення даних у формі та навігація по сторінці. Корисними бібліотеками для клієнтської частини є AngularJS, ReactJS, VueJS та багато інших [28].

Серверна частина: надає об'єкти, необхідні для запуску JavaScript на сервері. Розширення на стороні сервера дозволяють додатку взаємодіяти з базою даних і забезпечують безперервність інформації від одного виклику до іншого додатку або виконувати маніпуляції з файлами на сервері. Найбільш відомим фреймворком, який є корисним в наші дні, є node.js.

Імперативна мова – контролює потік обчислень. Процедурний підхід до програмування, об'єктно-орієнтований підхід підпадає під це поняття, оскільки в режимі очікування асинхронного виконання, користувачеві потрібно продумати, що робити далі після виклику асинхронного виконання.

Декларативне програмування – у цьому типі мови використовують логічні обчислення. Її основна мета – описати бажаний результат без прямої вказівки, як його отримати, як це робить функція зі стрілкою [28].

Особливості JavaScript:

1. JavaScript є найпопулярнішою мовою на землі.
2. JavaScript створений для маніпуляцій з DOM. Раніше веб-сайти були здебільшого статичними, після створення JS з'явилися динамічні веб-сайти.
3. Функції в JS – це об'єкти. Вони можуть мати властивості та методи, як і інші об'єкти. Їх можна передавати як аргументи в інші функції.
4. Може працювати з датою і часом.
5. Виконує перевірку форми, хоча форми створюються за допомогою HTML.

6. Не потребує компілятора.

Однією з особливостей Earth Engine є можливість виконувати великі обчислення дуже швидко, розподіляючи їх між великою кількістю серверів. Можливість ефективного використання хмарних наборів даних і обчислень забезпечується за допомогою інтерфейсу API Earth Engine.

API – це спосіб спілкування з серверами Earth Engine. Він дозволяє вказати, які обчислення потрібно виконати, а потім отримати результати [29]. API розроблений таким чином, що користувачам не потрібно турбуватися про те, як обчислення розподіляються по кластеру машин і як збираються результати. Користувачі API просто вказують, що потрібно зробити. Це значно спрощує код, приховуючи деталі реалізації від користувачів.

API Earth Engine розроблений таким чином, щоб не залежати від мови. Google надає офіційні клієнтські бібліотеки для використання API як з JavaScript, так і з Python. API залишається в основному однаковою незалежно від мови програмування, яку використовують. Основна відмінність полягає в синтаксисі, який використовується для виклику функцій API.

JavaScript API Earth Engine є найдосконалішим і найпростішим у використанні на початку роботи. Платформа Earth Engine постачається з веб-редактором коду, який дозволяє почати використовувати JavaScript API Earth Engine без будь-якої інсталяції. Він також надає додаткову функціональність для відображення результатів на карті, збереження скриптів, доступу до документації, управління завданнями тощо. Він має механізм обміну кодом з іншими користувачами в один клік, що дозволяє легко відтворювати його та співпрацювати. Крім того, JavaScript API постачається з бібліотекою користувацького інтерфейсу, яка дозволяє створювати діаграми та веб-додатки без особливих зусиль.

На практиці не потрібно добре знати JavaScript, щоб використовувати Earth Engine. Базового синтаксису буде достатньо. Всі важливі обчислення в

Earth Engine повинні використовувати функції API, і навіть базова операція, така як додавання двох чисел в Earth Engine, повинна виконуватися за допомогою API Earth Engine.



Рис.2.1. Приклад використання JavaScript в Google Earth Engine [30]

Редактор коду – це інтегроване середовище розробки для JavaScript API Earth Engine [30]. Простий спосіб вводити, налагоджувати, запускати та керувати кодом. Редактор коду дозволяє вводити JavaScript-код і виконувати його. API Earth Engine дуже широкий і надає об'єкти та методи для виконання будь-яких завдань – від простих математичних обчислень до складних алгоритмів обробки зображень.

Отже, Google Earth Engine сприяє розробці геоінформатики та аналізу геопросторових даних за допомогою мови програмування JavaScript. JavaScript – це потужний інструмент для розробки власних алгоритмів обробки та аналізу супутникових зображень у GEE. Це відкриває багато можливостей для створення індивідуальних рішень і дослідження геопросторових даних на платформі GEE.

2.1.2. Обробка та зчитування супутникових зображень в Google Earth Engine

Процес зчитування супутникових зображень в дистанційному зондуванні передбачає навчання класифікатора розпізнавати шаблони в даних, які відповідають відомим класам, що представляють інтерес (наприклад, лісові, водні, міські).

Процес обробки та зчитування супутникових зображень земного покриття за допомогою Google Earth Engine (GEE) та JavaScript можна поділити на такі кроки:

1. Імпорт знімка. Потрібен супутниковий знімок, на якому будуть проводити класифікацію. Для прикладу, знімок із супутника Landsat 8.

```
// Import a Landsat 8 image.  
var image =  
ee.Image('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_044034_20140318'); [31]
```

Цей код імпортує знімок Landsat 8 за його конкретним ідентифікатором.

2. Визначення потрібного регіону. Окреслення точки, навколо якої потрібно буферизувати область, що цікавить для аналізу.

```
// Define a region of interest with a point.  
var geometry = ee.Geometry.Point([-122.3942, 37.7295]);  
var region = geometry.buffer(50000); // 50 kilometers [31]
```

Визначення точки (пари довгота-широта) і буферизації області в 50 кілометрів навколо неї.

3. Візуалізація зображення. Відображення імпортованого зображення на мапі за допомогою методу Map.addLayer().

```
// Display the image.
```

```
Map.addLayer(image, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], max: 0.3},  
'Landsat 8 original image'); [31]
```

Для візуалізації потрібно використати RGB-композицію.

4. Вибірка знімків та створення навчальних і тестових наборів. Відбір точки в цьому регіоні на знімку Landsat 8 і поділ їх на навчальний і тестовий набори.

```
// Sample the image at the points and add a random column.  
var points = image.sample({  
  region: region,  
  scale: 30,  
  numPixels: 5000,  
  seed: 0,  
  geometries: true // Set this to false to ignore geometries  
}).randomColumn();  
// Make a training-testing split.  
var training = points.filter(ee.Filter.lt('random', 0.7));  
var testing = points.filter(ee.Filter.gte('random', 0.7));  
[31]
```

У наведеному вище фрагменті метод `image.sample()` використовується для вибірки точок у вказаній області. Функція `randomColumn()` додає до цих точок випадковий стовпчик. Потім ці точки розподіляються на навчальну та тестову множини за допомогою випадкового розподілу.

5. Навчання кластера. Створення екземпляру кластера k-середніх і навчання його на навчальній вибірці.

```
// Instantiate the clusterer and train it.  
var clusterer =  
ee.Clusterer.wekaKMeans(15).train(training); [31]
```

Використання алгоритму k-середніх з бібліотеки Weka, запитуючи 15 кластерів.

6. Кластеризація зображення. Після навчання кластера потрібно застосувати його до зображення.

```
// Cluster the input using the trained clusterer.
var result = image.cluster(clusterer);

// Display the clusters with random colors.
Map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'clusters'); [31]
```

Метод `cluster()` застосовує навчений кластер до зображення. Потім відбувається візуалізація отриманих кластерів.

7. Навчання класифікатора. Використання кластерів для навчання класифікатора дерева рішень.

```
// Now, use the clusters as a classifier!

var trained = ee.Classifier.smileCart().train({
  features: training,
  classProperty: 'cluster',
  inputProperties: image.bandNames()
}); [31]
```

Використання класифікатора дерева рішень з бібліотеки Smile.

8. Класифікація зображення. Після того, як класифікатор навчений, його потрібно застосувати до зображення, щоб класифікувати його.

```
// Classify the image.
var classified = image.classify(trained);

// Display the classification result.
Map.addLayer(classified.randomVisualizer(), {},
  'classification'); [31]
```

Метод `classify()` застосовує навчений класифікатор до зображення. Потім відбувається візуалізація отриманої класифікації.

Цей скрипт кластеризує зображення на 15 різних категорій земного покриву на основі їхніх спектральних сигнатур, а потім візуалізує ці категорії. Це потужний інструмент дистанційного зондування для розуміння ґрунтового

покриву або інших просторових явищ. Однак, застосування цих методів у реальному світі може включати більш складні методології.

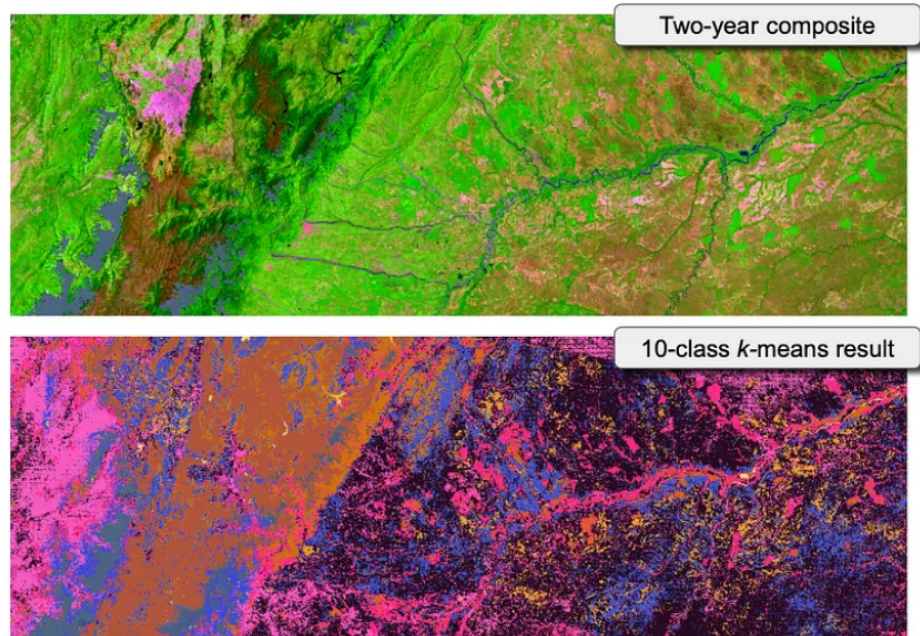


Рис.2.2. Контроль зміни земельного покриття за допомогою Google Earth Engine [31]

2.2. Збір та підготовка супутникових знімків

2.2.1. Вибір джерела супутникових знімків, які охоплюють Львівську область

Вибір джерела супутникових знімків для дослідження Львівської області є важливим етапом у дослідженні з картографування зміни земельного покриття. Спочатку потрібно обрати джерела зображень, які будуть використовуватися для аналізу. Вибір залежить від вашої наукової задачі, області дослідження і доступних ресурсів.

Для дослідження зміни земельного покриття у Львівській області було використано програмний засіб Google Earth Engine, що надає доступ до

широкого спектру супутникових даних, включаючи Landsat, і дозволяє проводити обробку та аналіз даних безпосередньо в хмарі.

Програма Landsat – це серія супутникових місій зі спостереження Землі під спільним управлінням НАСА та Геологічної служби США [32].

Супутники Landsat мають оптимальну роздільну здатність на місцевості та спектральні діапазони для ефективного відстеження земельного покриття та документування змін угідь внаслідок зміни клімату, урбанізації, посухи, лісових пожеж, змін біомаси (оцінка вуглецю) та багатьох інших природних і антропогенних змін.

Безперервний архів програми Landsat (з 1972 року по теперішній час) містить найважливіші дані про зміни земельних ресурсів та інформацію про тенденції, недоступну в інших джерелах [32]. Landsat є найбільшою у світі колекцією даних дистанційного зондування Землі з космічних апаратів з середньою роздільною здатністю, яка постійно оновлюється.

Підготовка готових зображень – це трудомісткий, але необхідний процес майже для всіх досліджень, пов'язаних з дистанційним зондуванням. Обране програмне забезпечення повністю використовує можливості Google Earth Engine для обробки величезної кількості зображень дистанційного зондування, а також візуалізації наявності та доступності зображень Landsat, що надаються тепловими картами як на регіональному, так і на глобальному рівнях. Властивість відсотка хмарності та діапазони якості продуктів відбиття поверхні Landsat використовуються для маскуванню хмар, тіней від хмар, снігу/льоду та неякісних пікселів у цьому дослідженні. Програмне забезпечення може бути застосоване для ефективного вибору районів дослідження та підготовки даних у різних галузях, таких як гідрологія, екологія та людська діяльність. Це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом доступне на веб-сторінках GitHub у форматах JavaScript та Python.

2.2.2 Пошук супутникових знімків земельного покриття у Львівській області у Google Earth Engine

Для дослідження зміни земельного покриття у Львівській області за 2015 та 2020 рр. потрібно визначити та завантажити необхідні супутникові знімки у певній області.

Для цього необхідно виконати такі кроки:

1. Відкрити Google Earth Engine та увійти до свого облікового запису Google Earth Engine.
2. Визначити область дослідження, а саме межі Львівської області на карті.
3. Вибрати джерело даних. Датасет Landsat, що має знімки за 2015 та 2020 роки.
4. Створити запит до Google Earth Engine. Створити скрипт на мові програмування JavaScript в Google Earth Engine для завантаження супутникових знімків за обрані роки та область.

Скрипт для створення запиту на знімок земельного покриття у Львівській області у 2015 р., березень:

```
// Визначення області дослідження (ROI).

var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44,
25.25, 50.39); // Межі Львівської області

// Завантаження зображень Landsat для березня 2015 року.

var dataset =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
.filterBounds(roi) // Область дослідження
.filterDate('2015-03-01', '2015-03-31') //
Березень 2015 року
```

```

        .median(); // Обчислити медіану знімків за місяць

// Додати знімок на карту
Map.addLayer(dataset, {
    bands: ['B4', 'B3', 'B2'], // Бажані канали (RGB)
    min: 0, // Мінімальне значення
    max: 0.3, // Максимальне значення
    gamma: 1.4 // Гамма-корекція (опціонально)
}, 'Львівська область березень 2015');

// Відобразити карту та центрувати її на області дослідження.
Map.centerObject(roi, 9); // Змінити рівень масштабу

```

Результати:

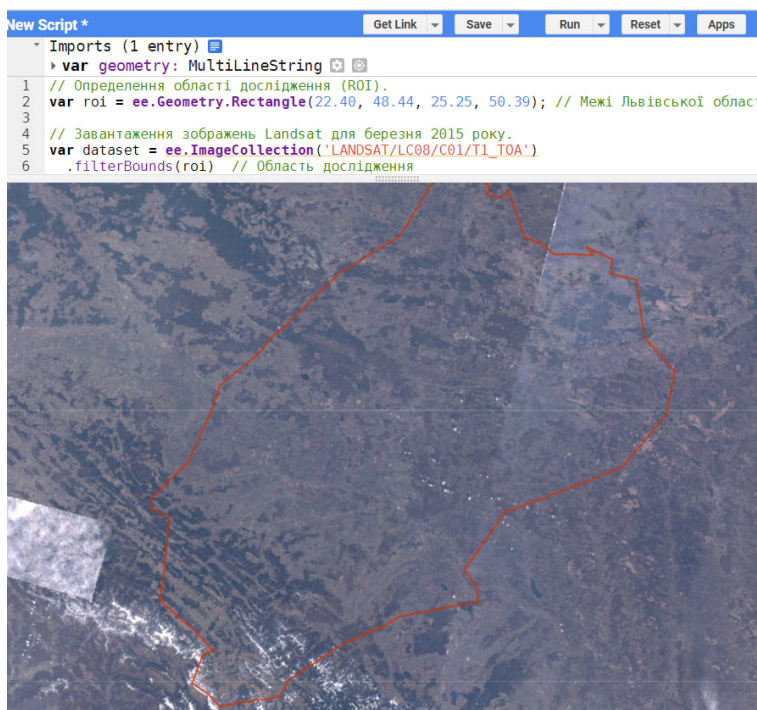


Рис.2.3. Земельний покриття Львівської області у 2015р., березень

Для порівняння зміни земельного покриття Львівської області потрібно проаналізувати супутниковий знімок земельного покриття Львівської області за 2020р. у березні.

Скрипт для створення запиту на знімок земельного покриття у Львівській області у 2020 р., березень:

```
// Визначення області дослідження (ROI).

var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44, 25.25,
50.39); // Межі Львівської області

// Завантаження зображень Landsat для березня 2020 року.

var dataset =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
    .filterBounds(roi) // Область дослідження
    .filterDate('2020-03-01', '2020-03-31') //
Березень 2020 року

    .median(); // Обчислити медіану знімків за місяць

// Додати знімок на карту
Map.addLayer(dataset, {
    bands: ['B4', 'B3', 'B2'], // Бажані канали (RGB)
    min: 0, // Мінімальне значення
    max: 0.3, // Максимальне значення
    gamma: 1.4 // Гамма-корекція (опціонально)
}, 'Львівська область березень 2020');

// Відобразити карту та центрувати її на області дослідження.
Map.centerObject(roi, 9); // Змінити рівень масштабу
```

Результат:

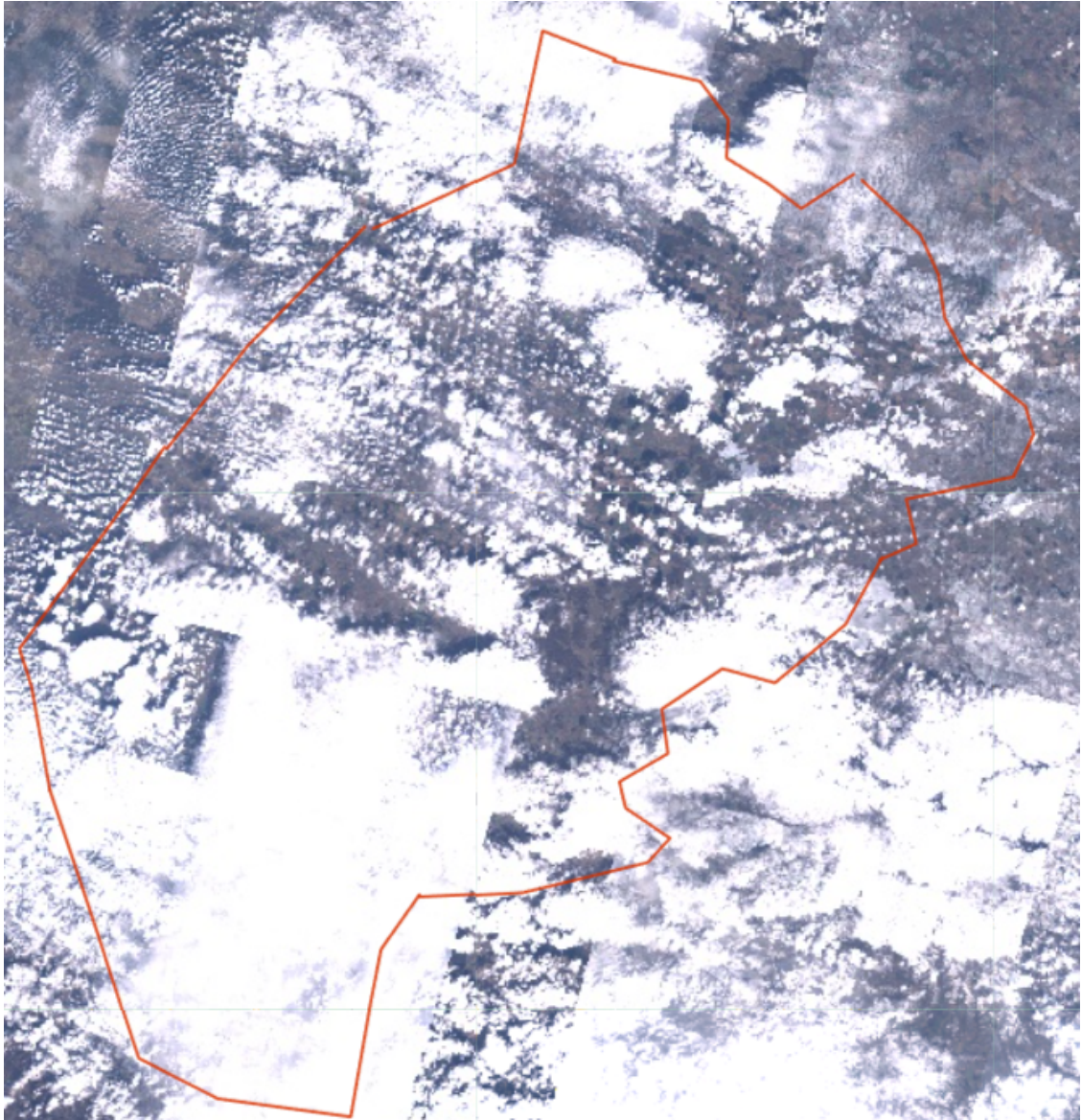


Рис.2.4. Земельний покрив Львівської області у 2020р., березень

Порівнюючи супутникові знімки земельного покриву Львівської області за 2015р. та 2020р., можна зробити висновки, що у березні 2015р. на земельному покриві був відсутній сніг на відміну від березня 2020р.

Отже, використання Google Earth Engine дає змогу отримати супутникові знімки, що охоплюють Львівську область, включаючи дані Landsat. Також пошук і вибір супутникових знімків можна здійснювати за допомогою фільтрації за часом та просторовою областю інтересу.

2.3. Обробка супутникових знімків Львівської області у середовищі Google Earth Engine

2.3.1. Фільтрація та підсилення зображень для покращення якості

Супутникові знімки використовуються в різних сферах досліджень. Ці зображення мають значні проблеми з якістю. Однак її можна покращити за допомогою алгоритмів покращення зображень з точки зору контрасту, яскравості, зменшення шумів тощо. Ці алгоритми використовуються для фокусування, підвищення різкості або згладжування зображення для демонстрації та вивчення атрибутів зображення. Отже, мета покращення зображення залежить від точного застосування.

Фільтрація зображення – це процес застосування математичної операції до кожного пікселя зображення для зміни його значення або кольору. Фільтрація може допомогти зменшити шум, підвищити контрастність, загострити краї або ізолювати певні довжини хвиль чи діапазони. Залежно від поставленої мети, можна використовувати різні типи фільтрів, наприклад, низькочастотні, високочастотні, смугові або фільтри виявлення країв. Наприклад, низькочастотний фільтр може згладити зображення і видалити високочастотні коливання, тоді як високочастотний фільтр може підкреслити краї і межі структур [19].

Підсилення зображення – це процес регулювання яскравості, контрастності, насиченості або колірної балансу зображення, щоб зробити його більш візуально привабливим або інформативним. Покращення може допомогти покращити видимість об'єктів, підкреслити відмінності чи аномалії або створити композити з фальшивими кольорами. Залежно від джерела даних, можна використовувати різні методи покращення, такі як розтягування гістограми, лінійні або нелінійні перетворення чи аналіз головних компонент. Наприклад, розтягування гістограми може збільшити динамічний діапазон

зображення і зробити об'єкти більш помітними, тоді як аналіз головних компонентів може зменшити розмірність зображення і виділити найбільш релевантну інформацію [19].

Способи фільтрації знімків:

1. Класифікація земельного покриття. Методи класифікації для виділення різних класів земельного покриття на знімку, таких як ліс, сільськогосподарські угіддя, водні ділянки, міські об'єкти тощо.
2. Виявлення змін у часі. Порівнювання знімків з різних часів (наприклад, з 2015 та 2020 років) для виявлення змін у земельному покритті, такі як зростання міських територій, вирубка лісу або зміни в сільському господарстві.
3. Фільтрація за хмарами та атмосферними впливами. Виділення частин зображення, що мають атмосферні впливи або сховані за хмарами, використовуючи фільтри за хмарністю та іншими параметрами.
4. Виділення об'єктів та покращення контрастності. Використання підходів до покращення контрасту на знімку, такі як гамма-корекція або ехансмент окремих каналів.
5. Методи аналізу NDVI. Використання індексу нормалізованої вегетації (NDVI) для аналізу розподілу рослинності на знімку, щоб виявити зони активного росту рослин або деградації земель.
6. Визначення водних тіл. Використання аналізу кольорів та інших характеристик для визначення водних об'єктів на знімку.

Наприклад для застосування способу фільтрації – виділення снігового покриття на знімку земельного покриття Львівської області за 2020 рік, потрібно використати такий скрипт:

```
// Виділення області дослідження (ROI).
```

```
var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44, 25.25,  
50.39); // Межі Львівської області
```

```

    // Завантаження зображень Landsat для березня 2020
року.

    var dataset =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')

    .filterBounds(roi) // Область дослідження

    .filterDate('2020-03-01', '2020-03-31') //
Березень 2020 року

    .median(); // Обчислити медіану знімків за місяць

// Визначення інфрачервоного каналу (B5) для виділення снігового
покриття.

var snowCover = dataset.select('B5');

// Додати знімок снігового покриття на карту.

Map.addLayer(snowCover, {

    min: 0, // Мінімальне значення

    max: 0.3, // Максимальне значення

    palette: ['blue', 'white'] // Колір для снігового
покриття (синій) та інше (білий)

}, 'Снігове покриття (березень 2020)');

// Відобразити карту та центрувати її на області дослідження.

Map.centerObject(roi, 9); // Змінити рівень масштабу.

```

У цьому коді було використано інфрачервоний канал B5 для виділення снігового покриття, і відображено його на карті, використовуючи синій колір для снігу. Для підвищення контрастності снігового покриття можна змінити мінімальне та максимальне значення, а також палітру за потреби.

Результат:

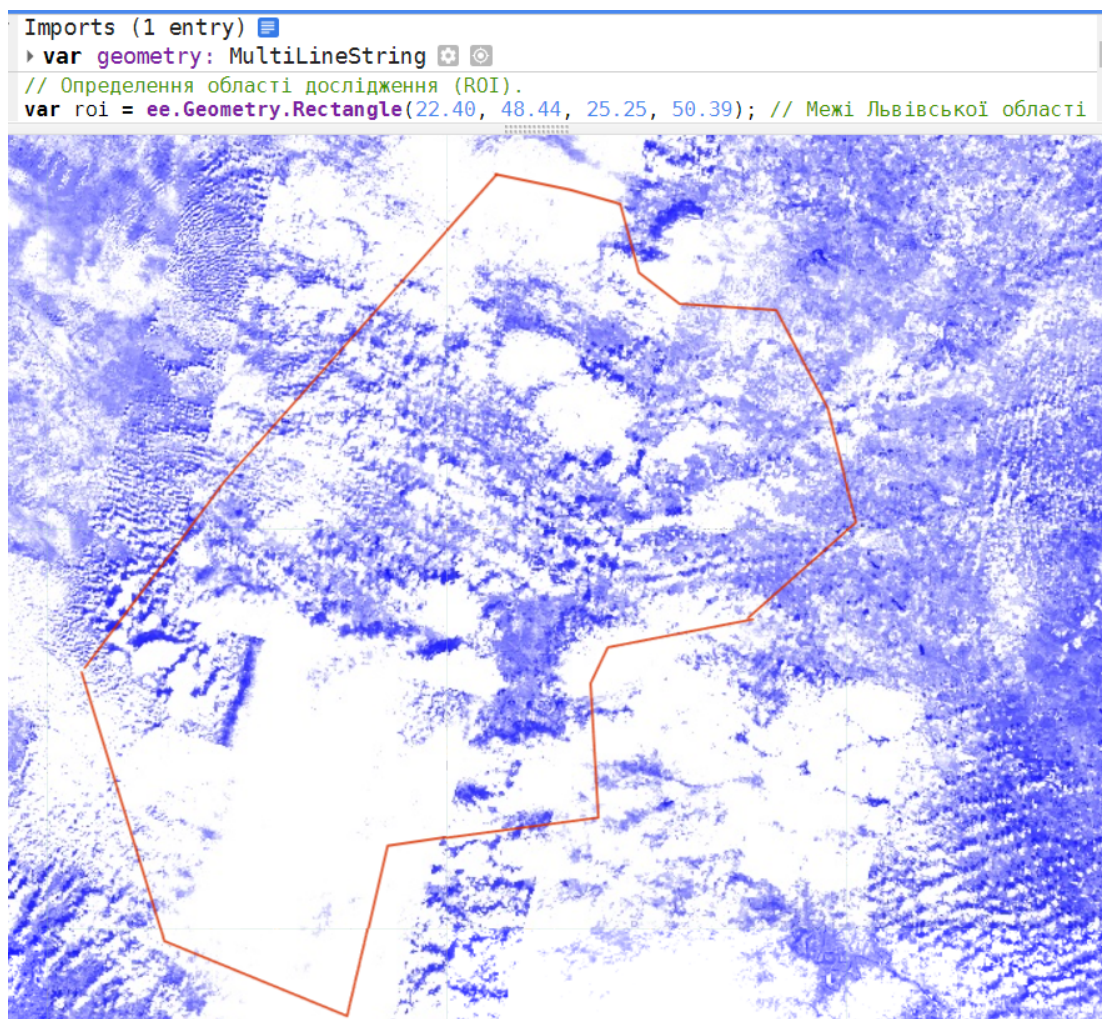


Рис.2.5. Виділення снігового покриття на знімку за допомогою фільтрації

Отже, застосування різних методів фільтрації та підсилення може значно покращити якість геопросторових зображень, зробити їх більш інтерпретованими та корисними для аналізу та прийняття рішень. Точний метод залежить від конкретних завдань та типу даних, які обробляються.

2.3.2. Порівняння результатів класифікації для різних часових періодів

Зміни в ґрунтовому покриві та практиці управління земельними ресурсами розглядаються як критичні фактори, що спричиняють зміни в

гідрологічних системах. Землекористування може мати значний вплив на якість води, яка може погіршуватися зі збільшенням людської діяльності.

Останніми роками внаслідок діяльності людини відбулися значні зміни у земельному покриві. Зміни у покриві пов'язані з антропогенними факторами, такими як: втрати сільськогосподарського виробництва, надмірна експлуатація лісів та урбанізація, спричинили дефіцит природних ресурсів, включаючи широкомасштабні та безповоротні втрати біорізноманіття у цій сфері [33]. Зростання населення продовжує змінювати ландшафт і природні угіддя через соціально-екологічні та соціально-економічні явища надзвичайно високими темпами, спричиняючи вплив на екосистемні послуги, а саме на зміну в гідрологічних системах.

Поверхневі води – це наземні водойми, включаючи струмки, річки, озера, болота, водосховища та струмки [34]. Океан, незважаючи на те, що він солоний, також вважається поверхневою водою. Поверхневі води беруть участь у гідрологічному циклі, або кругообігу води, який включає в себе рух води до поверхні Землі і від неї. Оподи та водний стік живлять водойми поверхневих вод. Випаровування і просочування води в землю, з іншого боку, призводять до втрати води водними об'єктами.

Оскільки поверхневі води є більш доступними, ніж підземні, вони використовуються людиною для багатьох потреб. Такі об'єкти є важливим джерелом питної води і використовуються для зрошення сільськогосподарських угідь.

Поверхневі води планети можна відстежувати як за допомогою наземних вимірювань, так і за допомогою супутникових знімків. Моніторинг швидкості течії струмків є важливим, оскільки допомагає визначити вплив людської діяльності та зміни клімату на доступність поверхневих вод. Важливо також відстежувати рослинність навколо поверхневих водойм. Видалення рослинності, як природним шляхом, наприклад, через пожежі, так і через вирубку лісів, може мати негативний вплив на поверхневі води. Втрата

рослинності може призвести до збільшення поверхневого стоку та ерозії, що, в свою чергу, може збільшити ризик повеней.

Тому для виявлення змін у земельному покриві Львівської області за 2015 та 2020рр. потрібно виконати класифікацію земельного покриву, а саме виділення водних об'єктів методом класифікації за пороговим значенням.

Метод класифікації за пороговим значенням – це метод, який використовується для розділення пікселів на дві класи на основі порогового значення певного індексу чи параметра. У випадку виділення водних об'єктів за допомогою порогового значення, використовується показник, який може вказувати на наявність води.

Наприклад, для виділення води можна використовувати індекс водяного розсіювання (Water Scattering Index, WSI), індекс нормалізованої різниці води (Normalized Difference Water Index, NDWI) чи інші. Поріг встановлюється на підставі значень цих індексів.

Наприклад, для індексу NDWI, зазвичай вода має додатні значення, тому пікселі з водою можна виділити, встановивши підходящий поріг (наприклад, 0.1 або 0.2). Всі пікселі з індексом NDWI, які перевищують цей поріг, вважаються пікселями води.

Скрипт для виділення водних об'єктів з використанням NDWI за 2015 рік:

```
// Визначення області дослідження (ROI).  
var roi = ee.Geometry.Polygon(  
  [[ [23.541564, 48.727018],  
     [22.626828, 49.537580],  
     [23.972653, 50.438160],  
     [24.120968, 50.665027],  
     [24.736203, 50.350613],
```

```

        [25.433835, 49.974083],
        [24.445065, 49.405505],
        [23.555173, 48.728912]]]
    );
    // Завантаження зображень Landsat для березня 2015 року.
    var dataset2015 =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
    .filterBounds(roi)
    .filterDate('2015-03-01', '2015-03-31')
    .median();
    // Функція для обчислення NDWI.
    var calculateNDWI = function(image) {
        var ndwi = image.normalizedDifference(['B3',
'B5']).rename('NDWI');
        return image.addBands(ndwi);
    };
    // Додавання NDWI до зображень.
    var dataset2015WithNDWI = calculateNDWI(dataset2015);
    // Визначення порогу для виділення води.
    var waterThreshold = 0.1;
    // Виділення води за допомогою порогового значення NDWI.
    var water =
dataset2015WithNDWI.select('NDWI').lt(waterThreshold);
    // Відображення водних об'єктів на карті.
    Map.addLayer(water, {palette: ['blue', 'green'], min:
0, max: 1}, 'Водні об'єкти 2015');

```

Результат:

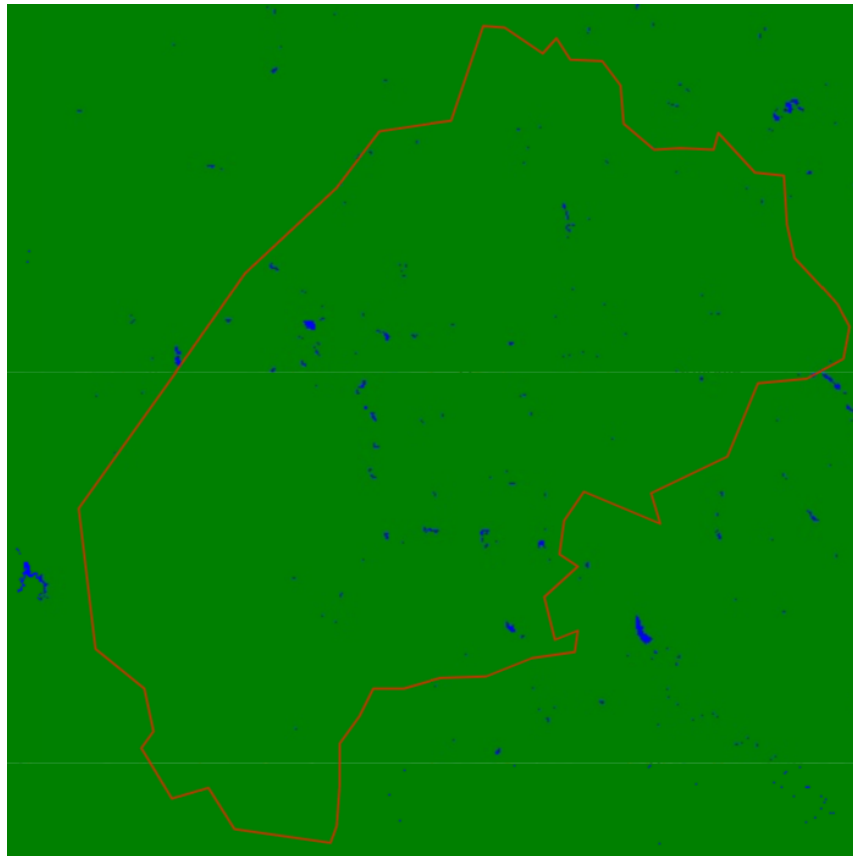


Рис.2.6. Водні об'єкти Львівської області за 2015 рік

Скрипт для виділення водних об'єктів з використанням NDWI за 2020 рік:

```
// Визначення області дослідження (ROI).  
var roi = ee.Geometry.Polygon(  
  [[ [23.541564, 48.727018],  
    [22.626828, 49.537580],  
    [23.972653, 50.438160],  
    [24.120968, 50.665027],  
    [24.736203, 50.350613],  
    [25.433835, 49.974083],  
    [24.445065, 49.405505],  
    [23.555173, 48.728912] ] ]  
);  
  
// Завантаження зображень Landsat для березня 2020 року.
```

```

var                                dataset2020                                =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
    .filterBounds(roi)
    .filterDate('2020-03-01', '2020-03-31')
    .median();

// Функція для обчислення NDWI.
var calculateNDWI = function(image) {
    var ndwi = image.normalizedDifference(['B3',
    'B5']).rename('NDWI');
    return image.addBands(ndwi);
};

// Додавання NDWI до зображень.
var dataset2020WithNDWI = calculateNDWI(dataset2020);

// Визначення порогу для виділення води.
var waterThreshold = 0.1;

// Виділення води за допомогою порогового значення NDWI.
var                                water                                =
dataset2020WithNDWI.select('NDWI').lt(waterThreshold);

// Відображення водних об'єктів на карті.
Map.addLayer(water, {palette: ['blue', 'green'], min: 0,
max: 1}, 'Водні об'єкти 2020');

```

Результат:

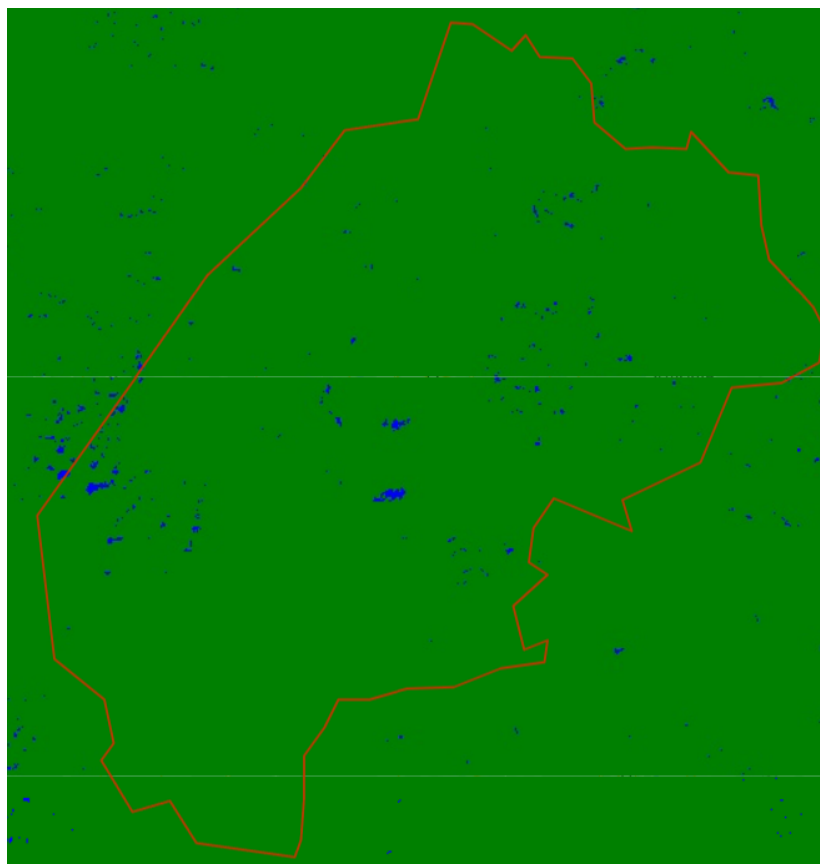


Рис.2.7. Водні об'єкти Львівської області за 2020 рік

Отже, порівняння результатів класифікації за різні періоди дає можливість оцінити зміни у земельному покритті за певний період часу. Оцінка цих змін може бути важливою для багатьох цілей: моніторинг зміни клімату, визначення рушійних сил людської діяльності в природних екосистемах і моніторинг змін у використанні землі тощо.

Зокрема, класифікація водних об'єктів допомагає виявити зміни у водних об'єктах у часі, такі як зменшення або збільшення об'єму води, розширення водойм чи зміна їх розташування.

Аналізуючи рис.2.6 та 2.7, можна зробити висновки, що площа поверхневих вод у 2020 році збільшилася у порівнянні з 2015 роком. Для більш точної оцінки зміни площі поверхневих вод Львівської області потрібно: порахувати площу покриття поверхневими водами, визначити індекс нормалізованої різниці води та зазначити стан поверхневих вод.

Таблиця 2.1.

Критерії розпізнавання стану води за значенням NDVI [36]

Значення NDVI	Стан води
-1.00–0.10	водойми, відсутність води
0.11–0.30	слабо вологі місця
0.31–0.50	помірно вологі місця
0.51–0.70	достатньо вологі місця
0.71–1.00	дуже вологі місця

Таблиця 2.2.

Індекс NDVI щільності та площі води Львівської області 2015 та 2020рр

2015 рік				2020 рік			
Площа	Область визначення	Значення NDVI	Стан води	Площа	Область визначення	Значення NDVI	Стан води
0.02739	1	0.72	дуже вологі місця	0.1256	1	0.90	дуже вологі місця
0.1625	2	0.53	достатньо вологі місця	0.2367	2	0.80	дуже вологі місця
0.1406	3	0.36	помірно вологі місця	1.7865	3	0.58	достатньо вологі місця
5.6068	4	0.28	слабо вологі місця	5.9087	4	0.51	достатньо вологі місця

Отже, порівнюючи значення індексу NDVI щільності води та площу водного покриву на деяких областях визначення Львівської області 2015-2020рр, можна зробити висновки що стан води покращився, а площа водного покриву у 2020р. збільшилася.

2.3.3. Створення тематичних карт та графіків для візуалізації результатів

Земля є незамінним природним ресурсом, який має величезне економічне, соціальне та біофізичне значення. Як наслідок, земельний покрив зазнає постійних змін, головним чином через розвиток суспільства та природні причини. Зміни ЗП є фундаментальними процесами на земній поверхні і мають значний вплив на людське суспільство, клімат, біорізноманіття, гідрологічні цикли, екосистеми, біогеохімічні цикли та багато інших процесів.

Світова водна екосистема перебуває у великій небезпеці через зміну її біологічних, хімічних та фізичних властивостей. Стан поверхневих вод погіршується через зростання чисельності населення, урбанізацію, зміни у землекористуванні та рослинному покриві, попит на воду і зміну клімату. Сукупний вплив цих змін та природних явищ, таких як посухи, призводить до того, що водні ресурси, особливо прісна вода, стають недостатніми та забрудненими. Стрімке зростання населення також перетворює природне середовище на антропогенне, а це означає, що антропогенна діяльність буде відбуватися в масовому масштабі, наприклад, індустріалізація та масове виробництво продуктів харчування для задоволення попиту на їжу та клітковину, що виникає внаслідок експоненціального зростання населення [35].

Тому для дослідження динаміки площі поверхневих вод у Львівській області, за допомогою ПЗ Google Earth Engine та мови програмування JavaScript було створено знімки поверхневих вод з 2015-2020рр.

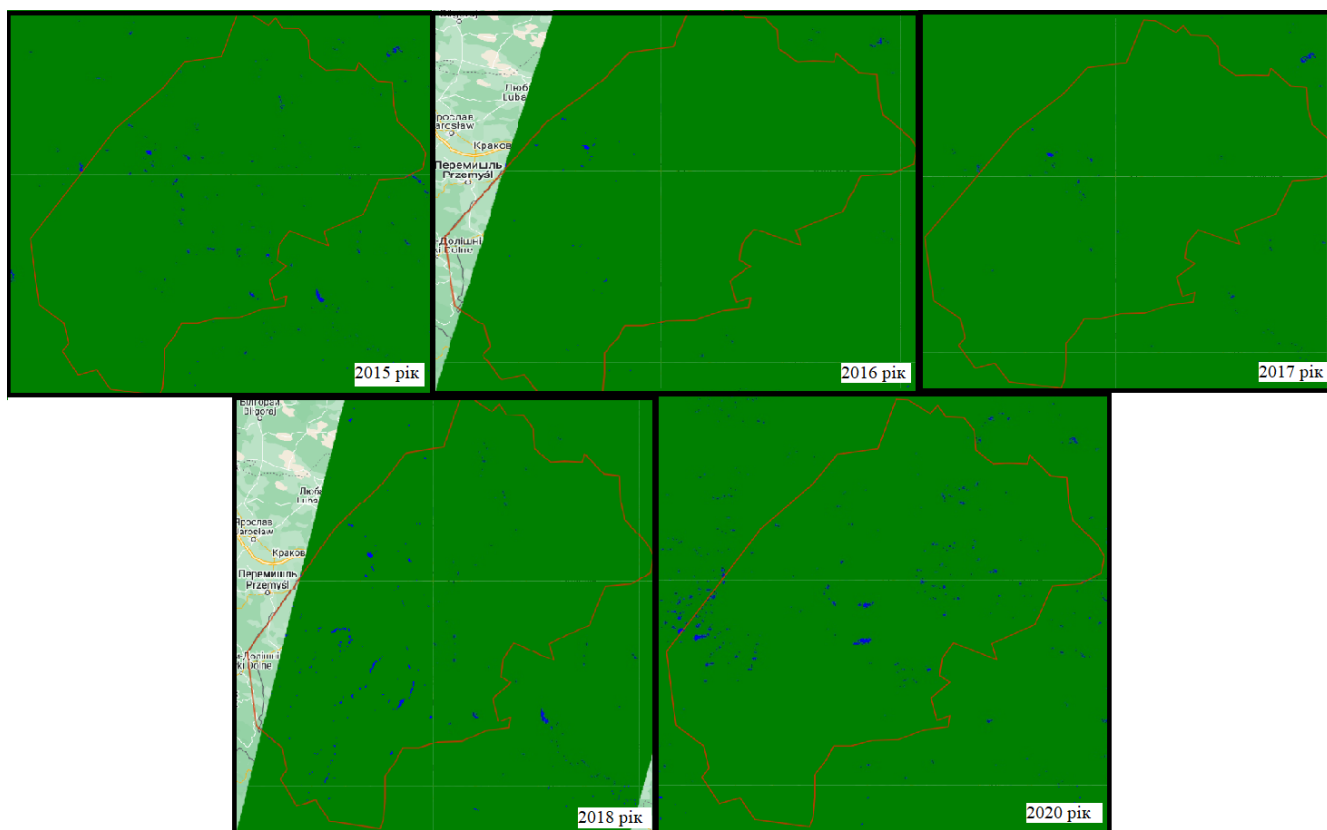


Рис.2.8. Динаміка площ поверхневих вод 2015-2020рр.

Аналізуючи знімки земельного покриття Львівської області за період 2016-2020рр., можна зробити висновки, що у 2016 та 2017 році, площа поверхневої води зменшилася у порівнянні з 2015 роком. У 2018 та 2020рр. площа поверхневих вод стала більшою у порівнянні з попередніми роками. Для кращої візуалізації змін стану водного покриття та площі покриття Львівської області було створено графік (див.рис.2.9) на основі таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Індекс NDVI щільності води та площі Львівської області 2015 - 2020рр

Роки	Область визначення	Значення NDVI	Стан води	Площа
2015	1	0.72	дуже вологі місця	0.02739
	2	0.53	достатньо	0.1625

			вологі місця	
	3	0.36	помірно вологі місця	0.1406
	4	0.28	слабо вологі місця	5.6068
2016	1	0.61	достатньо вологі місця	0.02339
	2	0.48	помірно вологі місця	0.1325
	3	0.34	помірно вологі місця	0.1306
	4	0.25	слабо вологі місця	5.1068
2017	1	0.59	достатньо вологі місця	0.01339
	2	0.46	помірно вологі місця	0.1225
	3	0.30	слабо вологі місця	0.1266
	4	0.22	слабо вологі місця	5.002
2018	1	0.64	достатньо вологі місця	0.02139
	2	0.49	помірно вологі місця	0.1425
	3	0.32	помірно вологі місця	0.1363
	4	0.26	слабо вологі місця	5.102
2020	1	0.90	дуже вологі місця	0.1256
	2	0.80	дуже вологі місця	0.2367
	3	0.58	достатньо	1.7865

			вологі місяця	
	4	0.51	достатньо вологі місяця	5.9087

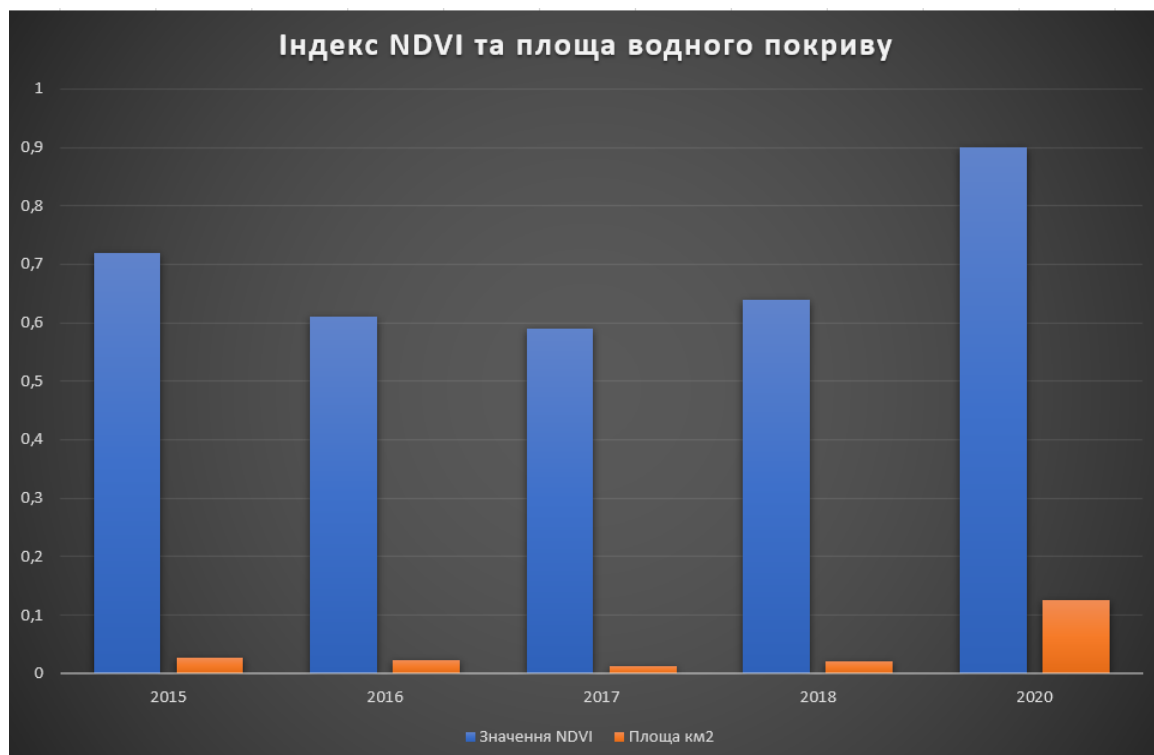


Рис.2.9. Графік змін індексу NDVI та площі водного покриття Львівської області 2015-2020рр.

Отже, стан водного покриття Львівської області схильний до зниження протягом років у всіх областях, хоча у 2020 році спостерігається різке збільшення вологості в усіх областях, особливо в 2 та 3.

Загалом, аналіз вказує на сталість водних ресурсів у більшості ділянок протягом років з певними змінами вологості у деяких роках, особливо помітними у 2020 році.

Висновки до розділу 2

На основі аналізу супутникових знімків земельного покриття у Львівській області можна зробити висновки, що завдяки використанню Landsat були отримані зображення з високою роздільною здатністю, що дозволило проводити аналіз земельного покриття на досить дрібних територіях.

Використання NDVI ефективно використовувати для визначення стану водного покриття на досліджуваній території. Вологість місць визначалась за допомогою NDVI, що вказувала на наявність води на певній території. З високими значеннями NDVI спостерігалися вологі місця, тоді як низькі значення вказували на менш вологі ділянки.

Протягом 2015-2020 років були зафіксовані зміни площі водного покриття. Найбільші зміни спостерігалися у 2020 році, коли зафіксовані значення NDVI вказували на збільшення вологості місць у порівнянні з попередніми роками. Такі значення дали змогу зрозуміти динаміку розподілу водних ресурсів у визначених областях.

Отже, використання супутникових знімків, особливо за допомогою NDVI, дало можливість не лише оцінити вологість території, але й виявити зміни у розподілі водних ресурсів у Львівській області з часом.

РОЗДІЛ 3 КАРТОГРАФУВАННЯ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ

3.1. Використання вегетаційних індексів (NDVI, EVI, NDSoilsIndex, BAEI, NDWI) для визначення різних типів земельного покриття

Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) є одним з важливих методів класифікації, який широко використовується для виявлення змін у рослинному покритті та землекористуванні. Для цього використовуються супутникові знімки за різний часовий період для отримання значень NDVI. Індекс NDVI є загальноживаним методом в урбаністичних дослідженнях для оцінки змін рослинного покриття та моделей зростання міст. Результати індексу NDVI можуть бути використані як індикатори майбутніх тенденцій змін рослинного покриття, а також для визначення ефективних факторів, що впливають на рослинний покрив, для кращого розуміння планування різних заходів.

Покращений вегетаційний індекс (EVI) – це «оптимізований» вегетаційний індекс, розроблений для посилення сигналу рослинності з покращеною чутливістю в регіонах з високою біомасою та покращеного моніторингу рослинності завдяки усуненню фонового сигналу та зменшенню впливу атмосфери [25]. EVI подібний до нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) і може бути використаний для кількісної оцінки зелені рослинності. Однак EVI коригує деякі атмосферні умови та фоновий шум і є більш чутливим у районах з густою рослинністю.

Байронський антишумовий індекс (BAEI) – використовують для спостереження та аналізу за рослинністю на земельних покриттях з використанням даних супутникових знімків. Розроблений спеціально для

виявлення шуму на знімках та вдосконалення точності визначення вегетаційного покриву.

Основні застосування ВАЕІ включають:

1. Видалення артефактів та шуму.
2. Моніторинг вегетаційних змін.
3. Агрокультурний моніторинг.
4. Екологічні дослідження.

Нормалізований індекс різниці водності (NDWI) – це супутниковий індекс, отриманий за допомогою ближнього інфрачервоного (NIR) та короткохвильового інфрачервоного (SWIR) каналів [25]. Відбивна здатність SWIR відображає зміни як у вмісті води в рослинності, так і в губчастій структурі мезофілу в рослинному покриві. Результати NDWI можуть бути представлені у вигляді карт і графіків, які надають інформацію як про просторовий розподіл водного навантаження на рослинність, так і про його часову еволюцію протягом тривалих періодів часу. Традиційно результати NDWI представляються у вигляді кольорової карти, де кожен колір відповідає певному діапазону значень. Стандартної кольорової палітри не існує, але більшість програм використовують палітру кольорів, подібну до NDWI.

Усі ці вегетаційні індекси використовуються для аналізу і визначення різних типів земельного покриву на основі даних супутникових знімків і рефлектансу рослинності та водойм.

Для визначення різних типів земельного покриву у Львівській області за березень 2015 року було використано такий скрипт:

```
// Визначення області дослідження (ROI).
var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44, 25.25,
50.39); // Межі Львівської області

// Завантаження зображень Landsat для березня 2015 року.
var dataset2015 =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
.filterBounds(roi)
```

```

        .filterDate('2015-03-01', '2015-03-31')
        .median();
// Функція для обчислення NDVI.
var addNDVI = function(image) {
    var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
    return image.addBands(ndvi);
};
// Додавання NDVI до зображень.
var dataset2015WithNDVI = addNDVI(dataset2015);
// Класифікація за NDVI.
var classifyLandCover = function(image) {
    var ndvi = image.select('NDVI');
    // Встановлюємо пороги для класифікації.
    var water = ndvi.lt(0.1);
    var vegetation = ndvi.gte(0.2);
    var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));
    // Створюємо класифікаційний растр.
    var landCover = ee.Image(0)
        .where(water, 1) // Вода
        .where(vegetation, 2) // Рослинність
        .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт
    return
image.addBands(landCover.rename('LandCover'));
};
// Застосування класифікації до зображень.
var dataset2015Classified =
classifyLandCover(dataset2015WithNDVI);

// Відобразити результати класифікації.

```

```
Map.addLayer(dataset2015Classified.select('LandCover'),  
{min: 1, max: 3, palette: ['blue', 'green', 'brown'],  
  labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий ґрунт']},  
'Класифікація 2015').
```

Результат:

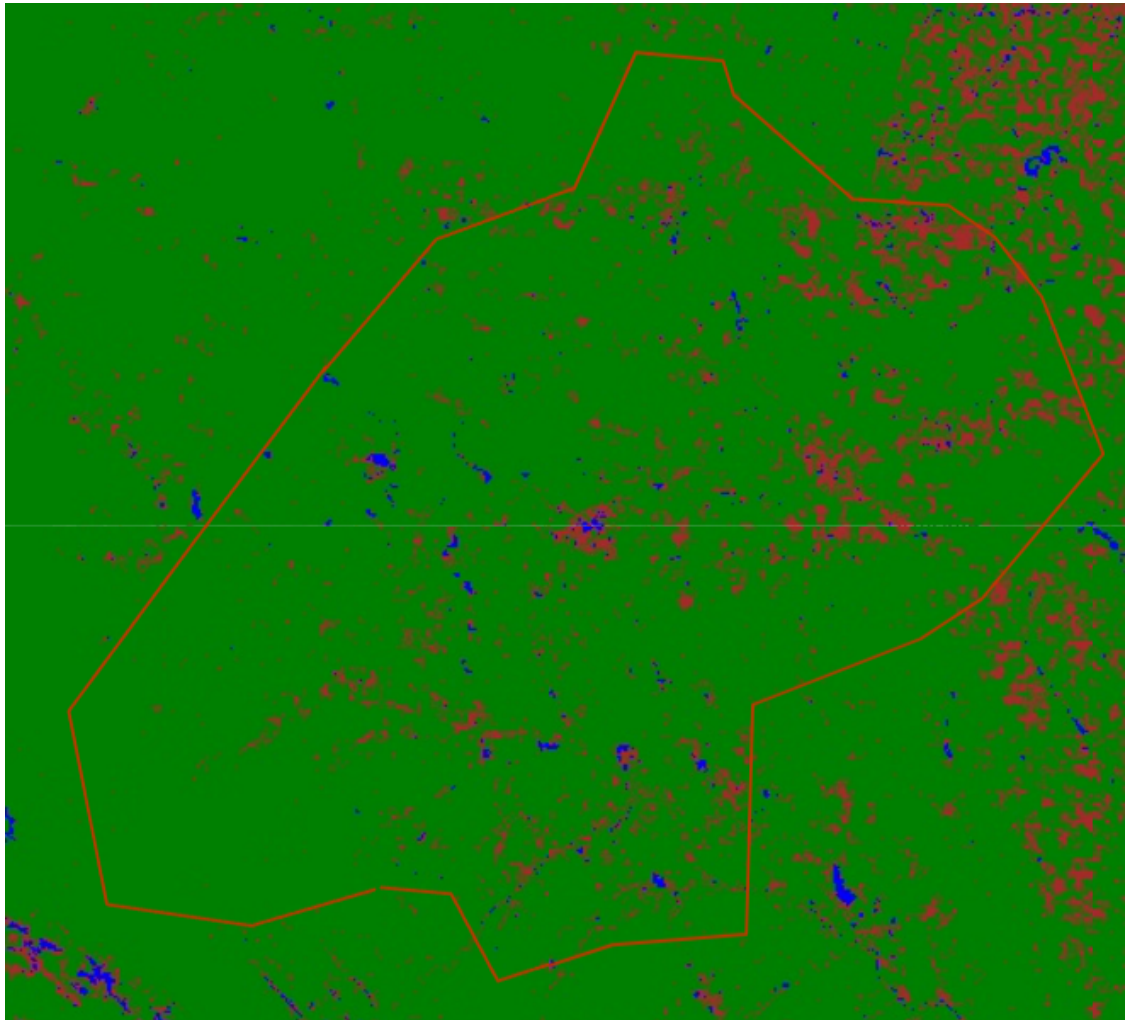


Рис.3.1. Визначення різних типів земельного покриття у Львівській області за 2015 р.

Для порівняння зміни земельного покриття було створено зображення різних типів земельного покриття у Львівській області у березні за 2020 рік. Для виконання цієї роботи було використано такий скрипт:


```

// Визначення області дослідження (ROI).
var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44, 25.25,
50.39); // Межі Львівської області

// Завантаження зображень Landsat для березня 2020 року.
var dataset2020 =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
  .filterBounds(roi)
  .filterDate('2020-03-01', '2020-03-31')
  .median();

// Функція для обчислення NDVI.
var addNDVI = function(image) {
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
  return image.addBands(ndvi);
};

// Додавання NDVI до зображень.
var dataset2020WithNDVI = addNDVI(dataset2020);

// Класифікація за NDVI.
var classifyLandCover = function(image) {
  var ndvi = image.select('NDVI');
  // Встановлюємо пороги для класифікації.
  var water = ndvi.lt(0.1);
  var vegetation = ndvi.gte(0.2);
  var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));
  // Створюємо класифікаційний растр.
  var landCover = ee.Image(0)
    .where(water, 1) // Вода
    .where(vegetation, 2) // Рослинність
    .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт

```

```
return  
image.addBands(landCover.rename('LandCover'));  
};  
// Застосування класифікації до зображень.  
var dataset2020Classified =  
classifyLandCover(dataset2020WithNDVI);  
// Відобразити результати класифікації.  
Map.addLayer(dataset2020Classified.select('LandCover'),  
{min: 1, max: 3, palette: ['blue', 'green', 'brown'],  
  labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий ґрунт']},  
'Класифікація 2020');
```

Результат:

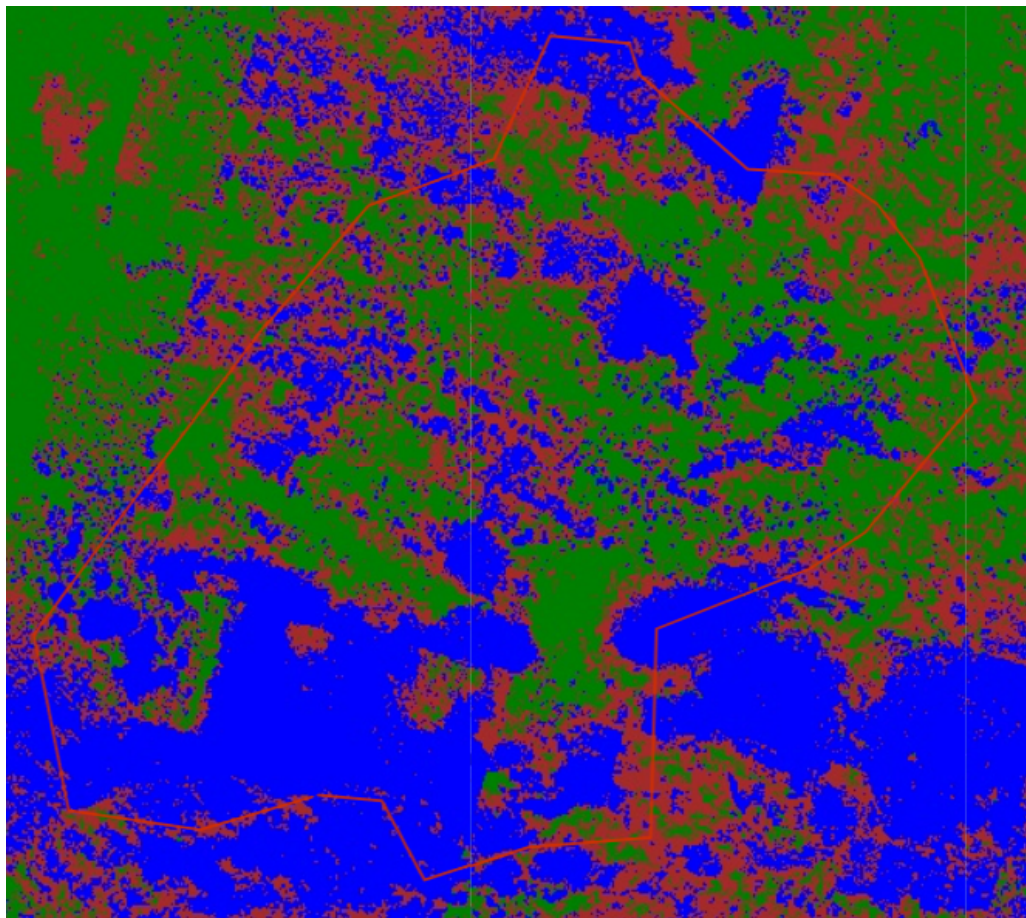


Рис.3.2. Визначення різних типів земельного покриття у Львівській області за 2020 р.

Аналізуючи знімки, можна зробити висновки, що у 2020 році у порівнянні з 2015 роком, площа різних типів земельного покриття змінилася. Для кращої візуалізації зміни площі різних видів земельного покриття було створено графік (див.рис.3.3) на основі табл.3.1.

Для обрахунку площі водного, рослинного та ґрунтового покриття для 2015 року, було створено скрипт:

```
// Визначення області дослідження (ROI).
var roi = ee.Geometry.Polygon([
  [23.559122, 48.753107],
  [22.625284, 49.550693],
  [23.636026, 50.307407],
  [24.152383, 50.656945],
  [25.174112, 50.293372],
  [24.690713, 49.515042],
  [24.405069, 49.443661],
  [24.405069, 49.185829],
  [23.767862, 49.106778],
  [23.504190, 48.753107]
]);

// Завантаження зображень Landsat для березня 2015 року.
var dataset2015 =
ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')
  .filterBounds(roi)
  .filterDate('2015-03-01', '2015-03-31')
```

```

        .median();

// Функція для обчислення NDVI.
var addNDVI = function(image) {
    var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
    return image.addBands(ndvi);
};

// Додавання NDVI до зображень.
var dataset2015WithNDVI = addNDVI(dataset2015);

// Класифікація за NDVI.
var classifyLandCover = function(image) {
    var ndvi = image.select('NDVI');

// Встановлюємо пороги для класифікації.
    var water = ndvi.lt(0.1);
    var vegetation = ndvi.gte(0.2);
    var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));

// Створюємо класифікаційний растр.
    var landCover = ee.Image(0)
        .where(water, 1) // Вода
        .where(vegetation, 2) // Рослинність
        .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт
return
image.addBands(landCover.rename('LandCover'));
};

```

```

// Застосування класифікації до зображень.

var dataset2015Classified =
classifyLandCover (dataset2015WithNDVI);

// Функція для обчислення площі певного класу покриття за пікселями.
var calculateArea = function(image, classValue) {
    var area = image.select('LandCover').eq(classValue)
        .selfMask()
        .rename('Area');

    var pixelArea =
area.multiply(ee.Image.pixelArea()).divide(1e6); // Площа
пікселя у км2.

    var stats = pixelArea.reduceRegion({
        reducer: ee.Reducer.sum(),
        geometry: roi,
        scale: 30,
        maxPixels: 1e9
    });

    return ee.Number(stats.get('Area')).getInfo(); //
Повертаємо площу у км2.

};

// Обчислення площі води, рослинності та голого ґрунту.

var waterArea = calculateArea(dataset2015Classified,
1);

var vegetationArea =
calculateArea(dataset2015Classified, 2);

```

```

var                                     bareSoilArea                                     =
calculateArea (dataset2015Classified, 3);

// Вивід площі кожного класу покриву.

print ('Площа води (км²):', waterArea);

print ('Площа рослинності (км²):', vegetationArea);

print ('Площа голого ґрунту (км²):', bareSoilArea);

// Відображення класифікації на мапі.

Map.addLayer (dataset2015Classified.select ('LandCover'),

               {min: 1, max: 3, palette: ['blue',
'green', 'brown'], labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий
ґрунт']}),

               'Класифікація 2015');

```

Також було створено аналогічний скрипт для обрахунку площі водного, рослинного та ґрунтового покриву для 2020 року

Таблиця 3.1.

Зміна площі видів земельного покриву 2015 та 2020рр.

Вид земельного покриву	Площа,	
	2015 рік	2020 рік
Водний покрив	298.8900	8286.87856
Рослинний покрив	16826.9340	5441.1484
Голий ґрунт	2175.8671	5573.6641

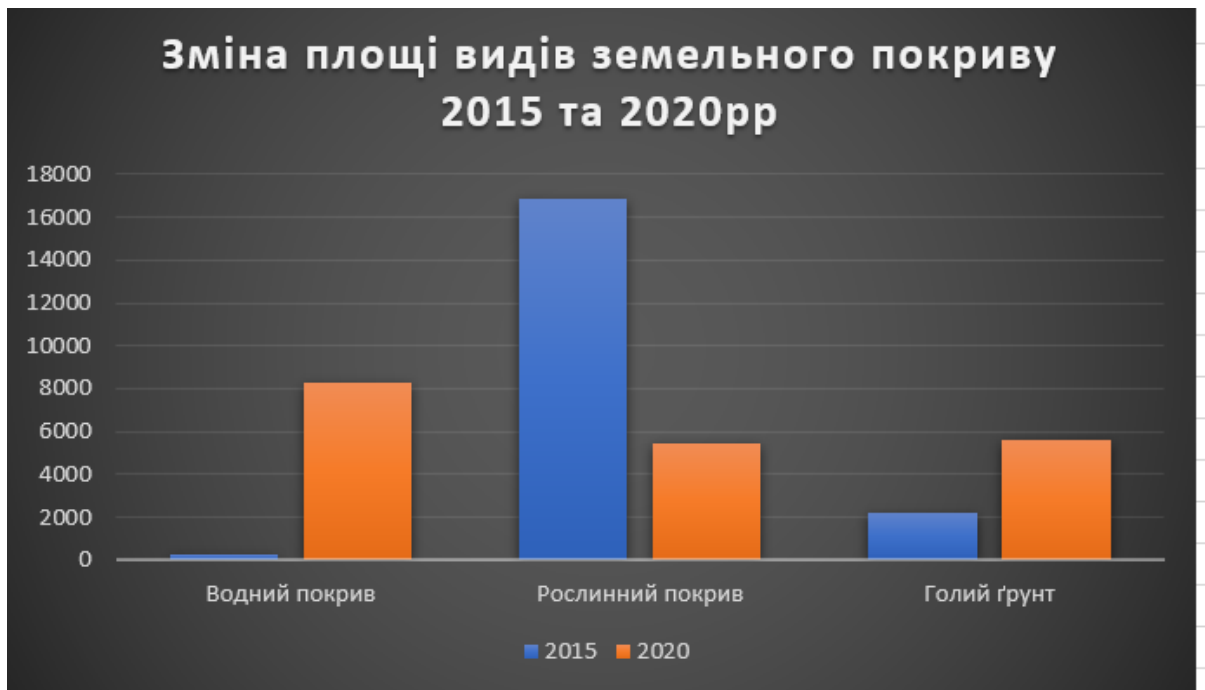


Рис.3.3. Зміна площі видів земельного покриття 2015 та 2020рр

Отже, площа водного покриття суттєво збільшилася з 298.89 км² у 2015 році до 8286.88 км² у 2020 році. Це може свідчити про зростання водних територій або інших процесів, що впливають на збільшення водних ресурсів протягом цього періоду.

Площа рослинного покриття зменшилася з 16826.93 км² у 2015 році до 5441.15 км² у 2020 році. Це може свідчити про втрату природних ландшафтів через забудову, зростання промисловості або зміни в умовах середовища, що впливають на рослинний покриття.

Площа голого ґрунту збільшилася з 2175.87 км² у 2015 році до 5573.66 км² у 2020 році. Це може бути пов'язано з різними процесами, такими як розорення лісів, антропогенна діяльність або природні зміни, які впливають на зменшення рослинного покриття та збільшення голого ґрунту.

Загалом, аналіз показників земельного покриття у 2015 та 2020 роках вказує на значні зміни в розподілі різних типів земель, що може бути пов'язано з природними процесами або людською діяльністю.

3.2. Класифікація різних видів земельного покриття на основі вегетаційних індексів

Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) є одним з найбільш широко використовуваних числових показників, який використовує видимий і ближній інфрачервоний діапазони електромагнітного спектру і застосовується для аналізу зображень дистанційного зондування та оцінки того, чи містить ціль живу зелену рослинність [37]. Для класифікації рослинного покриття обробляються різні комбінації діапазонів даних дистанційного зондування, а просторовий розподіл, такий як водні об'єкти, забудована територія, рослинність і густина рослинності, легко досліджується шляхом обчислення нормалізованого різницевого вегетаційного індексу на основі мультиспектральних даних.

Земельні ресурси досягли критичної стадії через збільшення кількості населення. Коли взаємодія людини з землею зростає, розуміння змін на землі стає невід'ємною частиною будь-якого екологічного плану. Земний покрив – це фізичні характеристики земної поверхні, що відображаються у розподілі рослинності, води, ґрунту або штучних споруд [37].

Аналіз земного покриття надає вихідні дані, необхідні для правильного розуміння того, як земля використовувалася в минулому, які зміни відбулися і очікуються в майбутньому. Такий покрив є важливим компонентом для розуміння взаємодії людської діяльності з навколишнім середовищем. Знання про земний покрив є важливим для багатьох видів діяльності з планування та управління землею поверхнею. Необхідно здійснювати моніторинг і виявляти зміни у землекористуванні, щоб збалансувати стале довкілля.

Застосування даних дистанційного зондування уможливило вивчення змін у рослинному покритті за менший час, з меншими витратами і з більшою точністю у поєднанні з географічними інформаційними системами, які забезпечують відповідну платформу для аналізу, оновлення та пошуку даних.

Супутникове дистанційне зондування дозволяє отримувати узгоджені та перспективні дані, що охоплюють великі території, в режимі близькому до реального часу або в реальному часі, за допомогою супутників, що мають різну довжину хвиль, різні кути огляду і роздільну здатність. Можливість отримання даних дистанційного зондування для дослідження рослинного покриву відіграє важливу роль у розробці схеми класифікації. Виявлення змін за допомогою методів дистанційного зондування, що передбачає комплексний аналіз просторово-часових і спектральних характеристик набору даних ДЗЗ з метою отримання точної інформації про певні зміни в ландшафті.

Отже, для класифікації різних видів земельного покриву у Львівській області було застосовано онлайн-платформу для аналізу та обробки географічних даних Google Earth Engine з використанням вегетаційних індексів.

Для цього було створено такий скрипт:

```
// Визначення області дослідження (ROI).  
var roi = ee.Geometry.Polygon(  
  [  
    [23.559122, 48.753107],  
    [22.625284, 49.550693],  
    [23.636026, 50.307407],  
    [24.152383, 50.656945],  
    [25.174112, 50.293372],  
    [24.690713, 49.515042],  
    [24.405069, 49.443661],  
    [24.405069, 49.185829],  
    [23.767862, 49.106778],  
    [23.504190, 48.753107]  
  ]  
);
```

```

);

// Завантаження зображень Sentinel-2 для березня 2022 року.
var dataset2022 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
    .filterBounds(roi)
    .filterDate('2022-03-01', '2022-03-31')
    .median();

// Функція для обчислення NDVI.
var addNDVI = function(image) {
    var ndvi = image.normalizedDifference(['B8',
'B4']).rename('NDVI');
    return image.addBands(ndvi);
};

// Додавання NDVI до зображень.
var dataset2022WithNDVI = addNDVI(dataset2022);

// Класифікація за NDVI.
var classifyLandCover = function(image) {
    var ndvi = image.select('NDVI');

    // Встановлення порогів для класифікації.
    var water = ndvi.lt(0.1);
    var vegetation = ndvi.gte(0.2);
    var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));

    // Створення класифікаційного растру.
    var landCover = ee.Image(0)
        .where(water, 1) // Вода
        .where(vegetation, 2) // Рослинність
        .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт

return
image.addBands(landCover.rename('LandCover'));

```

```
};  
  
// Застосування класифікації до зображень.  
  
var dataset2022Classified =  
classifyLandCover (dataset2022WithNDVI);  
  
// Відображення результатів класифікації.  
  
Map.addLayer (dataset2022Classified.select ('LandCover'),  
{min: 1, max: 3, palette: ['blue', 'green', 'brown'],  
  labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий ґрунт']},  
'Класифікація 2022');
```

Результат:

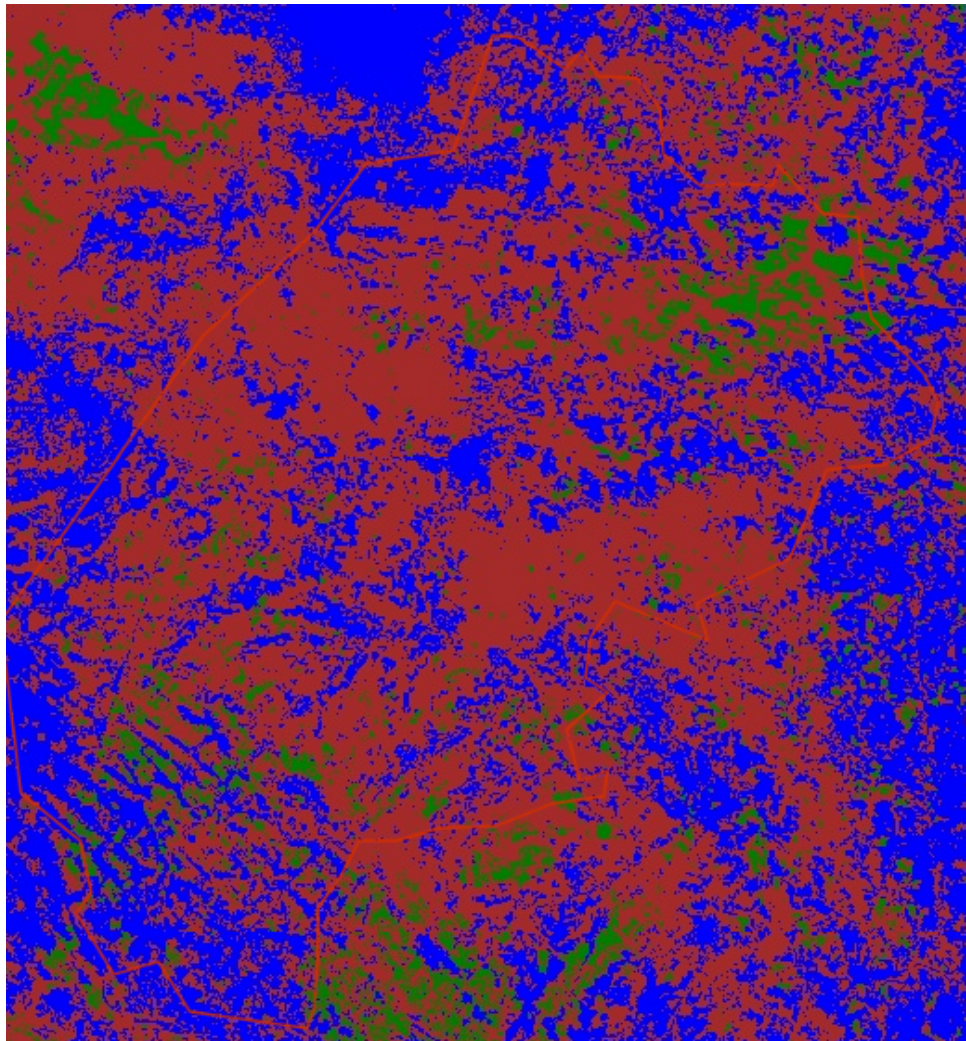


Рис.3.4. Класифікація різних видів земельного покриття у Львівській області

Кожен колір відповідає за класифікацію земельного покриття, де червоний колір – голий ґрунт, синій колір – вода, зелений колір – рослинний покриття.

Для порівняння співвідношення покриття різними видами покриття було обраховано площу цих ділянок (див. табл.3.2.)

Таблиця 3.2.

Площа різних видів земельного покриття у Львівській області за 2022р.

Площа,	Загальний відсоток, %	Вид земельного покриття
11877.6551	59.5	Голий ґрунт
1713.5410	10.3	Рослинність
5710.4949	30.2	Вода

Для кращої візуалізації даних було створено графік порівняння площі різних видів покриття на основі таблиці 3.2. (див.рис.3.5)

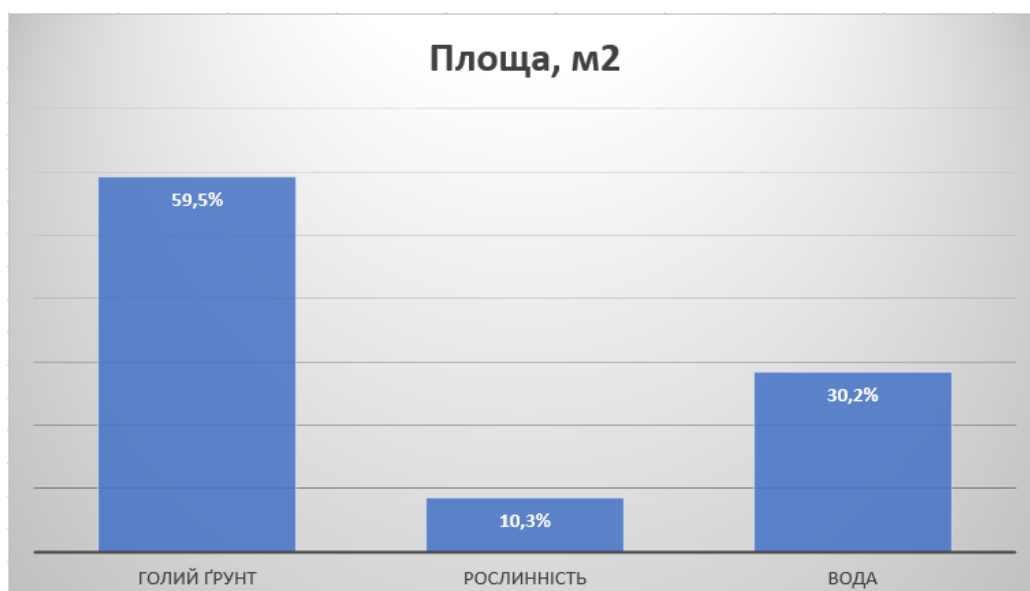


Рис.3.5. Площа різних видів земельного покриття у Львівській області за 2022р

Отже, аналізуючи таблицю можна зробити висновки, що у Львівській області 2022р. голий ґрунт займає найбільшу площу серед інших видів земельного покриття.

Рослинний покрив представляє собою лише частину від загальної площі, що свідчить про меншу розвиненість рослинності в порівнянні з голим ґрунтом або водними ресурсами в області.

Водний покрив займає значну площу, але все ж менше, ніж голий ґрунт. Це може вказувати на наявність водних ресурсів у великій кількості в досліджуваній області.

Рослинний покрив є ключовим фактором деградації земель. Зменшення площі багаторічного рослинного покриття вважається важливим індикатором початку опустелювання. Також рослинність є важливою у захисті поверхні ґрунту від розбризкування дощових крапель, збільшенні вмісту органічної речовини в ґрунті, стабільності ґрунтових агрегатів, водоутримуючої здатності, гідропровідності, затриманні та зменшенні поверхневого стоку тощо.

Ерозія та деградація ґрунтів починається лише тоді, коли значна частина поверхні землі позбавлена рослинності, після чого вони протікають у прискореному режимі, який не може бути зупинений лише опором ґрунтів.

Існує низка причин зменшення площі водного покриття, які, в свою чергу, впливають на все – від врожаю до здоров'я населення.

Причини зменшення площ водного покриття:

- зміна клімату;
- стихійні лиха;
- війна та конфлікти;
- стічні води;
- відходи у воді;

- відсутність певних даних про водний ресурс;
- відсутність міжнародного співробітництва щодо спільних водних джерел;
- відсутність інфраструктури [35].

Тому аналізуючи відсоток водного та рослинного покриття у Львівській області, можна зробити висновки, що такі види класифікації земельного покриття зазнають певних проблем, причинами яких можуть бути вищеперераховані фактори.

3.3.Визначення основних кількісних змін різних типів земельного покриття на основі change detection

Виявлення змін у земельному покритті є критично важливою технологією, яка застосовується в різних сферах, включаючи порушення лісових масивів, зміни в орних землях та розширення міст.

Землекористування та ґрунтовий покрив є фундаментальними темами в дослідженнях глобальних змін, оскільки вони слугують основою для виживання та розвитку людства. Зміни в землекористуванні в різних масштабах мають значний вплив на земний покрив, що має вирішальне значення для досліджень глобальних змін клімату, екологічного моніторингу довкілля та суміжних галузей. Виявлення змін передбачає визначення відмінностей у стані об'єкта або явища в часі, що забезпечує точне відображення змін, які відбуваються протягом тривалого періоду. Своєчасне і точне виявлення змін у глобальному покритті тісно пов'язане з різними аспектами глобальних змін, сприяючи кращому розумінню взаємозв'язку між людиною і природними явищами та кращому управлінню і використанню ресурсів.

Дистанційне зондування дозволяє аналізувати зміни в характеристиках і процесах землекористування, використовуючи набори даних з різних часових

періодів і охоплюючи великі території. Знімки ДЗЗ мають ряд переваг, таких як широке покриття, тривалі періоди зйомки та відносно зручна обробка даних, що робить їх основним джерелом даних для виявлення змін у землекористуванні за останні десятиліття.

Тому для визначення основних кількісних змін різних типів земельного покриття попередні скрипти було доповнено методом change detection.

Методи виявлення змін — це методи, які аналізують сцени та дані з різних періодів часу, щоб виявити зміни в характеристиках об'єктів, зміни в структурах даних і отримати інформацію про відмінності між ними.

Цей метод використовується в різних сферах, таких як обстеження ґрунтового покриття, моніторинг зміни клімату, обстеження лісів та визначення ризиків стихійних лих. Основною метою методів виявлення змін є пошук і візуалізація змін, які відбуваються між двома або більше моментами часу. Для цього використовуються різні алгоритми обробки зображень і аналізу даних.

Для виявлення змін на зображеннях супутникових даних можуть використовуватися наступні підходи:

1. Порівняння значення пікселів між двома або більше зображеннями. Зазвичай це включає порівняння інтенсивності кольору або значень спектрального індексу для визначення змін у земному покриві.
2. Використання алгоритму класифікації, щоб призначити конкретні класи об'єктам на зображеннях і порівняти класи за різні періоди часу.
3. Аналіз зміни індексу. Використання таких індексів, як NDVI (нормалізований індекс різниці рослинності) або NDBI (нормалізований індекс різниці побудови) для виявлення змін у рослинності, розвитку чи інших параметрах.
4. Алгоритми машинного навчання. Використання методів машинного навчання, такі як класифікація та кластеризація, щоб виявляти зміни в зображеннях і передбачати закономірності змін.

5. Статистичні методи. Аналіз часових рядів за допомогою статистичних методів. Приклади включають кореляційні вимірювання, кластерний аналіз або методи перехоплення та пулу для виявлення змін.
6. Оптична та радарна інтерпретація. Використання знань про об'єкти на зображенні та їхні властивості радара для виявлення змін.

Методи change detection є потужним інструментом виявлення та вивчення змін природних і антропогенних процесів на поверхні Землі. Передбачена можливість відстеження руху і змін об'єктів у просторі та часі.

Скрипт з використанням методу change detection для визначення основних кількісних змін різних типів земельного покриття:

```
// Визначення області дослідження (ROI).
```

```
var roi = ee.Geometry.Rectangle(22.40, 48.44, 25.25, 50.39); // Межі Львівської області
```

```
// Завантаження зображень Landsat для березня 2015 року.
```

```
var dataset2015 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA').filterBounds(roi).filterDate('2015-03-01', '2015-03-31').median();
```

```
// Завантаження зображень Landsat для березня 2020 року.
```

```
var dataset2020 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA').filterBounds(roi).filterDate('2020-03-01', '2020-03-31').median();
```

```
// Функція для обчислення NDVI.
```

```
var addNDVI = function(image) {
```



```

        var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');

    return image.addBands(ndvi);
};

// Додавання NDVI до зображень 2015 та 2020 років.
var dataset2015WithNDVI = addNDVI(dataset2015);
var dataset2020WithNDVI = addNDVI(dataset2020);

// Класифікація за NDVI для 2015 року.
var classifyLandCover2015 = function(image) {
    var ndvi = image.select('NDVI');

    // Встановлення порогів для класифікації.
    var water = ndvi.lt(0.1);
    var vegetation = ndvi.gte(0.2);
    var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));

    // Створення класифікаційного растру.
    var landCover = ee.Image(0)
        .where(water, 1) // Вода
        .where(vegetation, 2) // Рослинність
        .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт
    return image.addBands(landCover.rename('LandCover'));
};

// Класифікація за NDVI для 2020 року.
var classifyLandCover2020 = function(image) {
    var ndvi = image.select('NDVI');

    // Встановлення порогів для класифікації.
    var water = ndvi.lt(0.1);
    var vegetation = ndvi.gte(0.2);

```

```

    var bareSoil = ndvi.lt(0.2).and(ndvi.gte(0.1));
// Створення класифікаційного растру.
    var landCover = ee.Image(0)
      .where(water, 1) // Вода
      .where(vegetation, 2) // Рослинність
      .where(bareSoil, 3); // Голий ґрунт
    return image.addBands(landCover.rename('LandCover'));
};
// Застосування класифікації до зображень 2015 та 2020 років.
var dataset2015Classified =
classifyLandCover2015(dataset2015WithNDVI);
var dataset2020Classified =
classifyLandCover2020(dataset2020WithNDVI);
// Відображення результатів класифікації на мапі.
Map.addLayer(dataset2015Classified.select('LandCover'),
  {min: 1, max: 3, palette: ['blue', 'green',
'brown']},
  labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий
ґрунт']},
  'Класифікація 2015');
Map.addLayer(dataset2020Classified.select('LandCover'),
  {min: 1, max: 3, palette: ['blue',
'green', 'brown']},
  labels: ['Вода', 'Рослинність', 'Голий ґрунт']},
  'Класифікація 2020');

```

Результат:

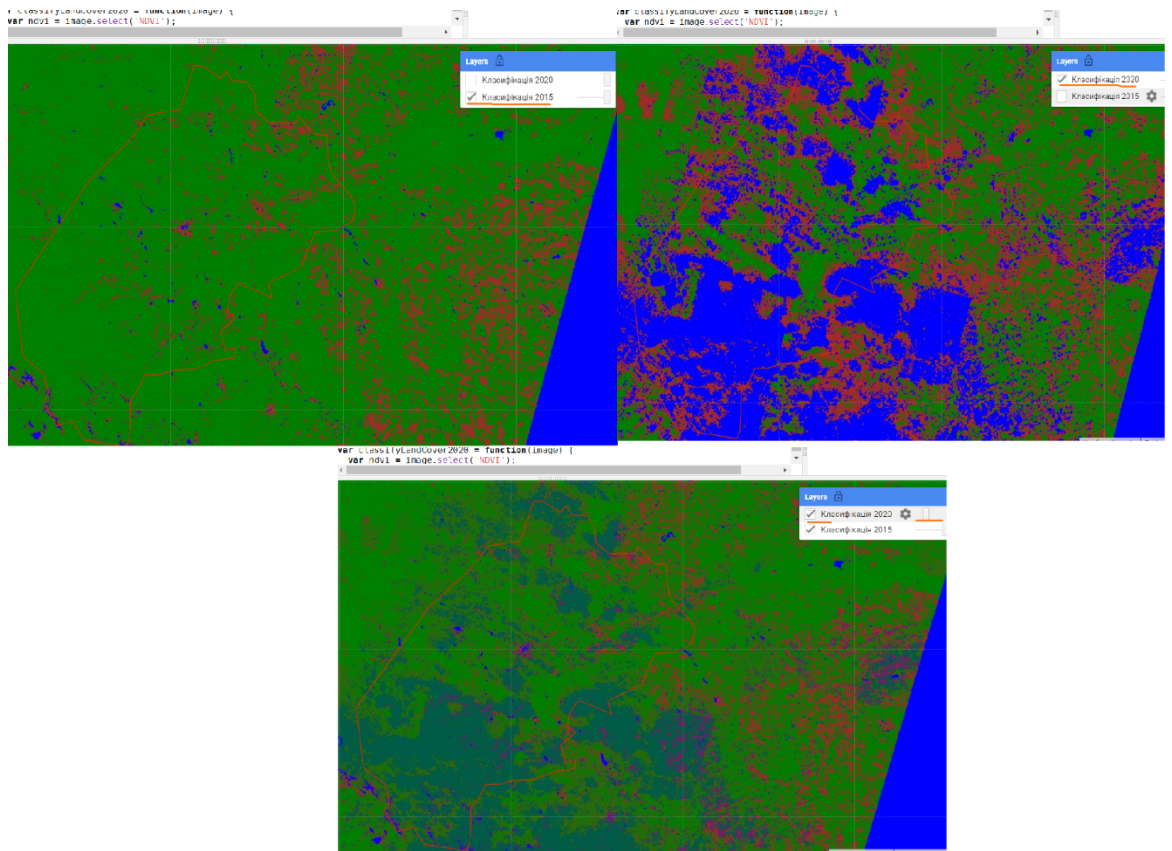


Рис.3.6. Визначення основних кількісних змін різних типів земельного покриття на основі change detection.

Отже, за допомогою change detection, зручно досліджувати зміни у часі за вказаною датою та територією. На онлайн-платформі Google Earth Engine, використовуючи мову програмування JavaScript було досліджено зміни у часі земельного покриття у Львівській області у 2015-2020рр. З використанням change detection не потрібно створювати скрипти для розробки окремих знімків за різні роки, адже за допомогою вбудованих інструментів в GEE можна переглядати декілька карт одразу та відслідковувати зміни, що відображені на них.

Кожному типу земельного покриття присвоєно відповідний колір, що є зручним для візуалізації даних. Тому аналізуючи знімки, можна зробити висновки, що у 2020 році площа рослинного покриття зменшилася, а площа водного покриття навпаки – збільшилася. На зменшення відсотку рослинності, можуть впливати різні фактори, що були описані вище.

Висновки до розділу 3

Картографування змін земельного покриття на основі спектральних даних є важливою частиною геоінформаційних технологій, що дозволяє вивчати динаміку та зміни в розподілі різних типів суші на поверхні Землі.

Використання різних супутникових зображень і спектральних даних для аналізу змін земного покриття дозволяє визначити різні типи землекористування та їх зміни в часі.

Алгоритми обробки даних, такі як індекси рослинності, класифікація, регресійний аналіз і виявлення змін, можуть допомогти визначити зміни у землекористуванні. Також можна реалізовувати відстеження змін у розподілі різних типів земель, виявлення деградації природних екосистем, впливу антропогенної діяльності на ґрунтовий покрив тощо.

Використання спектральних даних для створення карт і графіків, які відображають зміни земного покриття, забезпечує глибше розуміння просторових і часових змін.

Картування змін земельного покриття на основі спектральних даних може допомогти в прийнятті рішень у таких сферах, як охорона навколишнього середовища, розвиток сільського господарства та міське планування. Також це є потужним інструментом для вивчення впливу діяльності людини та природних процесів на екосистеми та навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Суб'єктом охорони праці у дипломній роботі на тему «Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine», є сам робітник, який здійснює дослідження та проводить аналіз супутникових знімків за допомогою Google Earth Engine.

Необхідно щоб у процесі дослідження, робітник дотримувався вимог з охорони праці. Виконання роботи має бути здійснене у безпечному середовищі без потенційних небезпек для здоров'я. Використання комп'ютерної техніки та програмного забезпечення має бути без ризику для здоров'я, а саме: налаштування ергономічного робочого місця та правильне розташування обладнання.

Потрібно забезпечити баланс між роботою та відпочинком для попередження стресу та психологічного перевантаження, тобто раціонально планувати часу з урахуванням регулярних перерв для відпочинку та виконання фізичних вправ.

4.1. Опис робочого місця. Умови праці суб'єкта. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта.

Виконання дипломної роботи на тему Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine, передбачає проведення тривалої кількості часу роботи за комп'ютером.

Робота проводилася у приміщенні з дотриманням усіх вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98.

1. Площа приміщення, де відбувалася безпосередня робота складає

2. Освітлення. Наявність штучного та природного освітлення. Для штучного освітлення використовувалися лампи, що не викликають блиску та падіння візуальної гостроти.
3. Кліматичні умови. Відносна вологість повітря – 50-60%. Температура повітря 23 градуси Цельсія.
4. Вентиляція. Наявність штучної вентиляції для забезпечення чистоти та свіжості повітря в приміщенні.
5. Шум. Робоче місце віддалене від джерел шуму, щоб уникнути впливу на концентрацію та увагу робітника.
6. Розміщення монітору. Монітор розташований таким чином, щоб уникнути відблисків і забезпечити оптимальні умови для зорового сприйняття.

Дослідження, які використовують комп'ютери та програмне забезпечення для обробки супутникових зображень, можуть містити певні шкідливі та небезпечні елементи, які можуть вплинути на об'єкт. Згідно з ДСНП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», шкідливими факторами пов'язаними з вищевказаною темою можуть бути:

1. Ергономіка робочого місця. Незручне розташування клавіатури, мишки та монітора може спричиняти мускульні напруги, біль у спині, шиї та зап'ястях.
2. Вплив на зоровий апарат. Тривалий період часу роботи за комп'ютером може викликати порушення та сухість зору, через довгий період фіксованої позиції та неправильне освітлення.
3. Вплив електромагнітних полів. Електромагнітні поля, які створюються комп'ютерами, можуть мати певний вплив на здоров'я людини.
4. Вплив на психоемоційний стан. У робітника може з'явитися дратівливість, втомленість, погіршення концентрації та стрес через

тривалий період часу роботи за комп'ютером. Постійна концентрація на одній ділянці екрана або певному завданні може викликати втому та погіршення психічного стану. Робота з великими обсягами інформації або великою кількістю даних може знизити концентрацію та викликати втому.

5. Сидячий спосіб життя. Через недостатню активність, та тривалий час роботи у сидячому положенні, на здоров'я робітника може відбуватися безпосередній негативний вплив. Тривале сидіння може спричинити проблеми зі спиною, шиєю, плечима та зап'ястями, що призведе до різноманітних розладів опорно-рухового апарату. Малорухливий спосіб життя знижує активність і обмін речовин, що може негативно вплинути на загальне здоров'я та призвести до серцево-судинних проблем.

Аналіз цих факторів дозволяє зрозуміти можливі ризики для здоров'я, які виникають при роботі з комп'ютером та програмами для обробки супутникових знімків.

4.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів

Для зменшення впливу шкідливих виробничих факторів при роботі з супутниковими знімками та програмами обробки зображень важливо здійснювати відповідні організаційні, конструктивні та технічні заходи.

Організаційні заходи:

1. Організація робочого місця. Забезпечення ергономічного робочого місця з відповідним обладнанням, стільцями, регульованими по висоті моніторами, підставками для документів та іншими елементами, Правила

безпеки під час трудового навчання і літніх практичних робіт учнів X-XI класів загальноосвітніх навчальних закладів у сільськогосподарському виробництві [44].

2. Проведення навчання та інструктажу. Робітнику необхідно ознайомитися правилами правильного використання обладнання, техніки безпеки, безпечними робочими позами та правилами організації робочого місця, Державні будівельні норми ДБН [41].
3. Проведення регулярних перерв. Встановити регулярні перерви, щоб зменшити стрес робітника і уникнути монотонності роботи, Державні санітарні норми та правила ДСНП [42].

Конструктивно-технологічні заходи:

1. Фільтри і підсвітка екрану. Використання фільтрів для зниження блисків на екрані та підсвітки, що не впливає на очі, ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [45].
2. Використання ергономічних пристроїв. Використання клавіатури, мишки та інших пристроїв з ергономічним дизайном, які сприяють правильній позиції рук під час роботи, Правила безпеки під час навчання в кабінетах інформатики навчальних закладів системи загальної середньої освіти [43].

Ці заходи спрямовані на зменшення негативного впливу шкідливих виробничих факторів на здоров'я працівників та підвищення комфортності праці. Щоб забезпечити ефективність і безпеку працівників, організаційні заходи можуть бути адаптовані до стандартів і правил охорони праці.

4.2.1. Розрахунок освітлення на робочому місці

Вплив належної кількості природного світла має позитивний вплив на здоров'я та самопочуття як на робочому місці, так і поза ним.

Там, де природне світло важкодоступне, можна вбудувати інші освітлювальні рішення за допомогою визначення оптимального рівня освітлення на робочому місці.

Тому для розрахунку оптимального рівня освітлення, потрібно взяти до уваги 2 фактори: площу приміщення та вимоги нормативних документів.

Загальна формула розрахунку освітлення:

$$(4.1)$$

де E – освітленість (лк); F – загальна світлова потужність джерел світла (лм); η – коефіцієнт використання світлового потоку світильника; S – площа приміщення (

Для розрахунку загальної світлової потужності джерел світла, потрібно опрацювати 2 фактори: освітленість (рекомендована для офісних приміщень) та площа приміщення. Дані, що використовувалися робітником: освітленість: 400 лк, площа: 43 .

Формула для розрахунку світлової потужності джерела світла:

$$F = \frac{E \cdot S}{\eta}, \quad (4.2)$$

де E – освітленість (рекомендована); S – площа приміщення; η – коефіцієнт використання світлового потоку світильника. Підставивши отримані значення у формулу, отримаємо:

Для розрахунку оптимального рівня освітлення, були обрані дані, що використовувалися робітником під час дослідження. Загальна світлова

потужність: 43000 лм; коефіцієнт використання світлового потоку світильника: 0.4; площа приміщення: 43 .

Отже, оптимальним рівнем освітлення, для безпечного проведення дослідження є 400 лк.

Формула для розрахунку кількості світильників. Для розрахунку оптимальної кількості світильників потрібно: загальна світлова потужність джерел світла: 43000 лм; коефіцієнт використання світлового потоку світильника: 0.4; площа приміщення:43 ; освітленість: 400лк.

$$, \quad (4.3)$$

де – освітленість (лк); F– загальна світлова потужність джерел світла (лм); – коефіцієнт використання світлового потоку світильника; S – площа приміщення (кількість світильників. Дані для розрахунку оптимальної кількості світильників, були обрані дані, що використовувалися робітником під час дослідження. Підставивши вищевказані значення, отримаємо:

1

Отже, оптимальна кількість світильників, окрім природного освітлення, є 1 світильник на приміщення для роботи.

У приміщенні правильне освітлення полегшує виконання всіх робочих завдань. Працівники отримують близько 85% інформації через зір. Належне освітлення, без відблисків і тіней, може зменшити втому очей і головний біль; воно може запобігти нещасним випадкам на робочому місці, підвищуючи видимість рухомих механізмів та інших загроз безпеці. Якісне освітлення також знижує ймовірність нещасних випадків і травм через «миттєву сліпоту» (короткочасне зниження поля зору через адаптацію очей до яскравішого або темнішого оточення).

Безпечна робота за комп'ютером на роботі залежить не тільки від освітлення, але й від:

1. Часу, необхідного для фокусування на об'єкті. Об'єкти, що швидко рухаються, важко розгледіти.
2. Розмір об'єкта. Дуже маленькі об'єкти важко розгледіти.
3. Яскравості. Занадто багато або занадто мало відбитого світла робить об'єкти погано видимими.
4. Контраст між об'єктом і його безпосереднім фоном. Занадто низький контраст ускладнює виділення об'єкта на тлі.

Денне світло: кількість денного світла, що потрапляє всередину будівлі, залежить від архітектури будівлі, кількості та напрямку сонячного світла, хмарності, рельєфу місцевості та пори року. Кількість денного світла, що потрапляє на робоче місце, можна контролювати за допомогою тонованого скла, віконних жалюзі, штор та навісів. Денне світло бажане на робочому місці за умови, що воно не викликає відблисків і не робить робочу зону занадто яскравою.

Недостатня кількість світла також може бути проблемою, тому навіть на робочих місцях, де є денне світло, важливо мати хорошу систему електричного освітлення.

Електричне освітлення: кількість світла, колір самого світла і колір, в якому виглядають об'єкти, залежать від типу електричного освітлення. Освітлення повинно відповідати робочому місцю та завданням.

Тому відповідно до типу приміщення, у кімнаті наявна компактна люмінесцентна.

4.3. Пожежо- та вибухонебезпека

З міркувань пожежної безпеки приміщення, в якому проводяться дослідження, повинно бути віднесено до певної категорії пожежної небезпеки за його параметрами, розмірами та можливими загрозами. Для об'єктів цієї категорії важливо враховувати необхідність дотримання всіх вимог пожежної безпеки. Така категорія описується у ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Відповідно до опису критеріїв, приміщення у якому відбувається дослідження відноситься до категорії Д (зниженопожежно-небезпечна).

У приміщенні, де проводиться дослідження наявні різні типи вогнегасників та системи пожежогасіння, які сприяють запобіганню та гасінню пожеж. Наявні 3 види вогнегасників:

- порошковий вогнегасник. використовуються для загальних приміщень, або науково-дослідних лабораторій;
- вуглекислотний вогнегасник. використовуються для електронних пристроїв та обладнання, оскільки не залишають корозійних слідів;
- водяний вогнегасник. використовуються для гасіння пожежі в дерев'яних або паперових матеріалах.

Також наявна водяна автоматична система пожежогасіння – спринклер, для припинення розвитку пожежі, розпилюючи воду.

Датчики та системи пожежної сигналізації потрібні для оперативного виявлення будь-яких загроз пожежі та вчасного сповіщення працівника. Тому у приміщенні присутній датчик пожежний димовий Веда СП212-5.

Шляхи евакуації з приміщення мають бути чітко позначені для швидкої орієнтації під час екстреної події. У приміщенні, де проводиться дослідження чітко позначені виходи та шляхи до них. Позначення евакуаційних виходів, є чіткими, навіть при обмеженому освітленні. Шлях евакуації широкий та не має

перешкод, що може утруднити проходження. Також сам шлях позначений відповідними стрілками та плакатним написом «Евакуаційний вихід».

Усі ці заходи спрямовані на максимальну безпеку робітника у разі виникнення надзвичайної ситуації та мінімізацію можливих ризиків при евакуації приміщень.

4.4. Інструкція з охорони праці при обслуговуванні

Інструкція з охорони праці при обслуговуванні дослідження на тему «Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine» повинна включати наступні пункти:

1. Правила безпеки під час роботи з програмним забезпеченням:
 - інструкція щодо правильного використання програмних засобів обробки супутникових знімків;
 - уникнення можливих проблем і вживання відповідних заходів безпеки під час використання програми.
2. Інструкції з персональної гігієни:
 - рекомендації щодо регулярних перерв під час роботи за комп'ютером;
 - нагадування вам про важливість правильної постави та вправ на розслаблення м'язів.
3. План евакуації та дії в надзвичайних ситуаціях:
 - опис шляхів евакуації та місць зустрічі на випадок пожежі та іншої надзвичайної ситуації;
 - інструкції, що робити у разі небезпеки та як повідомити про надзвичайну ситуацію.
4. Контроль та нагляд:
 - інструкція з контролю за виконанням правил з охорони праці;

- відповідальні особи та процедури повідомлення про потенційні небезпеки або інциденти на робочому місці.

5. Інструктажі та навчання:

- навчання та інструктаж з техніки безпеки та охорони праці при використанні програм, які обробляють супутникові знімки;
- регулярне оновлення знань безпеки та запобігання ризикам.

Метою цієї інструкції з охорони праці є забезпечення безпечного та здорового робочого середовища під час відповідного дослідження.

Висновки до розділу 4

Отже, у розділі «Охорона праці» проаналізовано важливість та необхідність дотримання правил та процедур безпеки під час проведення дослідження за темою «Картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine».

Використання програмного забезпечення, яке аналізує супутникові зображення, вимагає дотримання правил охорони праці та техніки безпеки, щоб запобігти потенційним ризикам для здоров'я робітника. Регулярні інструктажі та тренінги з техніки безпеки під час використання комп'ютерів і програм із супутникових зображень важливі для уникнення потенційних ризиків.

Потенційних проблем зі здоров'ям можна уникнути за допомогою заходів захисту, таких як правильне розташування обладнання, регулярні перерви та вправи на розслаблення м'язів. Наявність вогнегасника, системи пожежної сигналізації, плану евакуації допоможе зменшити можливі наслідки надзвичайної ситуації у приміщенні.

Регулярні перерви, фізичні навантаження та відпочинок під час роботи за комп'ютером допоможуть знизити рівень стресу та покращити психологічний стан робітника дослідження.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Тема: Картографування зміни земельного покриву з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine.

Так як картування змін земельного покриву за допомогою супутникових зображень має значний вплив на навколишнє середовище, оскільки допомагає виявляти, контролювати та оцінювати зміни в природному та антропогенному середовищі, необхідно дослідити їхній вплив на навколишнє середовище, та окреслити значення картографування зміни земельного покриву з використанням супутникових знімків.

5.1. Аналіз впливу антропогенної діяльності та природних факторів на зміни земельного покриву

Глобальний попит на продовольство та біоенергію, пов'язаний зі змінами у землекористуванні та зміною рослинного покриву, викликає ряд питань щодо навколишнього середовища, глобального потепління та зміни клімату. Існує достатньо доказів того, що у земельному покриві відбуваються антропогенні зміни, які можуть призвести до масового вимирання видів. Інформація про просторове представлення землекористування та ґрунтового покриву, динаміку ландшафту та організації оселищ є життєво важливою для розробки політики землекористування, адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату, а також для пошуку природоорієнтованих рішень, включаючи пропозиції щодо територій для заповідників. Просторові дані також є провідним способом надання географічно прив'язаних або локалізованих даних за допомогою дистанційного зондування (включаючи дрони), географічних інформаційних

систем, систем глобального позиціонування та вимірювань на місці в режимі реального часу.

Водне покриття відіграє життєво важливу роль у підтримці морських організмів та людських популяцій, які прямо чи опосередковано залежать від них. Однак прогресуюче погіршення стану такого покриття є наслідком регіональної та глобальної кризи, що посилюється посиленням кліматичних змін. Згідно зі звітом Світового департаменту водних ресурсів Організації Об'єднаних Націй (ООН), до 2050 року навантаження на водні ресурси зросте на 22-34% [38]. Така ситуація, ймовірно, обмежить водні об'єкти в їхній ролі регуляторів ландшафту і перерозподілу вологи, а також у підтримці біологічного різноманіття і господарської діяльності. Інтенсифікація сільського господарства, видобуток корисних копалин, урбанізація, збільшення обсягів будівництва та швидке зростання населення є основними сучасними антропогенними чинниками, що призвели до незворотних змін у структурі ландшафтів, які спричиняють величезний вплив на водне покриття, викликаючи деградацію водних екосистем та оселищ. Враховуючи цю загрозу для води, існує нагальна потреба в інформації, яка може допомогти краще зрозуміти та розпізнати антропогенний вплив та його негативні наслідки для ландшафту.

Зміна землекористування та ґрунтового покриву сприяє фрагментації земель, що посилюється збільшенням людських поселень через зміну природного ландшафту. Ця погана ситуація ще більше погіршується змінами в структурі землекористування, такими як перетворення лісів на орні землі, незаймані земель на забудовані території, що неминуче прискорює забруднення поверхневих вод і гідрологічну сполученість, що призводить до надходження наносів у річкові системи.

Хоча вода становить 71% земної поверхні, лише 0,3% її доступно у вигляді прісної води для використання людиною [39]. Більше того, якість прісної води в підземних і поверхневих системах викликає велике

занепокоєння, оскільки питна вода повинна мати відповідний вміст мінералів. На якість підземних і поверхневих вод у сільській місцевості та містах впливають як природні процеси, так і антропогенний вплив. Через це вода стає все більш дефіцитною в міру зростання чисельності населення в усьому світі. Природні процеси, що призводять до зміни якості води, включають вивітрювання гірських порід, випаровування, осадження під дією вітру, вимивання з ґрунту, стік під дією гідрологічних факторів та біологічні процеси у водному середовищі. Ці природні процеси спричиняють зміни рН та лужності води, а також фосфорне навантаження, збільшення вмісту фтору та високі концентрації сульфатів.

Антропогенні фактори, що впливають на якість води, включають вплив сільського господарства, використання добрив, гною та пестицидів, діяльність тваринництва, неефективні практики зрошення, вирубку лісів, аквакультуру, забруднення промисловими та побутовими стічними водами, видобуток корисних копалин та рекреаційну діяльність. Ці антропогенні впливи спричиняють підвищені концентрації важких металів, ртуті, кишкових паличок та поживних речовин.

5.2. Визначення важливості моніторингу зміни земельного покриву для оцінки стану довкілля

Важливо враховувати динаміку моделей землекористування та земельного покриву і те, як вони впливають на суспільство та навколишнє середовище. Традиційні методи оцінки змін у земельному покриві можуть бути неточними і вимагають багато ручної праці. Однак методи штучного інтелекту, такі як глибинне і машинне навчання, мають можливості для вдосконалення і автоматизації процесів моделювання земельного покриву.

Наразі в містах проживає майже половина населення світу, і протягом наступних 30 років очікується, що більша частина двомільярдного приросту населення планети припаде на міські райони країн, що розвиваються, а це означає значну зміну просторового розподілу населення в країнах, що розвиваються [39]. Це є значним відхиленням від просторового розподілу приросту населення в країнах, що розвиваються, за останні 30 років, який був набагато більш рівномірно розподілений між міськими та сільськими територіями. Рівень світової урбанізації сьогодні, а також кількість і розмір найбільших міст світу є безпрецедентними. На початку ХХ століття лише 16 міст у світі, переважна більшість з яких знаходилися в розвинених індустріальних країнах, налічували мільйон і більше мешканців. Сьогодні майже 400 міст мають мільйонне населення і більше, і близько сімдесяти відсотків з них знаходяться в країнах, що розвиваються.

Для забезпечення та захисту управління природними ресурсами, екологічної стійкості, збереження середовища існування та розвитку сталих стандартів життя для людей необхідно оцінювати і контролювати моделі землекористування та земного покриву. Тому архіви ґрунтового покриву необхідно регулярно моніторити, картографувати, аналізувати та оновлювати. Темпи урбанізації перевищують або дорівнюють темпам зростання населення. У деяких дослідженнях наголошується на великих мегаполісах, де зростання населення тісно пов'язане з розширенням міських земель, що базується на статистичних даних. Однак просторовий розподіл, тенденції, закономірності та ступінь переходу міських земель не були включені в цю статистику. Дослідження земельного покриву є добре відпрацьованою методологією для обчислення змін на поверхні землі, таких як картографування, моніторинг, моделювання та прогнозування зростання міст, з використанням супутникових знімків низької та дуже високої роздільної здатності.

LULC розшифровується як Land Use and Land Cover (землекористування і земний покрив), що є загальноживаними термінами в дистанційному

зондуванні [4]. Землекористування відноситься до людської діяльності на ділянці землі, тоді як земний покрив відноситься до типу покриття на поверхні землі, незалежно від того, спричинений він людськими чи природними силами. Зміни в земельному покриві дедалі більше впливають на людські потреби, і зростає потреба у картографуванні та розумінні цих змін. Картування змін у землекористуванні на регіональному рівні є важливим для широкого кола застосувань, включаючи зсуви, ерозію та планування земельних ресурсів у глобальному масштабі. Моделювання ЗЗЛЗ передбачає ідентифікацію і класифікацію різних типів землекористувань і ґрунтового покриву на основі зображень дистанційного зондування. Використання дистанційного зондування в моделюванні земельного покриву зростає завдяки наявності нових датчиків і мультисенсорних підходів, які дають уявлення про зміни в землекористуванні та земному покриві.

Моніторингу зміни земельного покриву, а саме для водних об'єктів є дуже важливим аспектом для оцінки стану довкілля. Водні екосистеми, такі як водосховища, річки, озера та водно-болотні угіддя, мають вирішальне значення для підтримки біорізноманіття та надання важливих екосистемних послуг, таких як очищення води, підтримка рибальства та регулювання клімату. Моніторинг змін рівнів води допомагає визначити стан гідрологічних процесів, таких як повені, посухи та зміни русла річок і водосховищ. Це важливо для оцінки впливу зміни клімату та стихійних лих на водні ресурси.

Зміни у водоймах також впливають на якість води. Це важливий аспект у забезпеченні здоров'я людини та підтримці біорізноманіття та функціонування екосистеми. Також зміни водного покриву можуть відбуватися внаслідок діяльності людини, наприклад будівництва, зрошення сільськогосподарських угідь та промислової діяльності. Моніторинг цих змін корисний для управління водними ресурсами, планування землекористування та використання природних ресурсів.

Таким чином, моніторинг змін водного покриву за допомогою картографування є важливим для розвитку екосистем і збереження ресурсів.

5.3. Використання супутникових знімків та Google Earth Engine для моніторингу

Водойми піддаються зростаючим гідрологічним навантаженням, тому безперервний і точний моніторинг цих ресурсів має важливе значення для забезпечення сталого управління ними. Останнім часом супутникові знімки використовуються в дистанційному зондуванні, що дозволяє проводити спостереження з високим часовим і просторовим розподілом. Використання водних індексів виявилось ефективною методологією моніторингу поверхневих водних ресурсів. Однак точних або автоматичних методик, що використовують супутникові знімки для визначення об'ємів водосховищ, бракує. Щоб заповнити цю прогалину, ефективно використовувати Google Earth Engine для відбору зображень; автоматичного розрахунку площі затоплення із застосуванням водних індексів; визначення об'єму, накопиченого у водосховищах за певні роки, на основі співвідношення між площею затоплення та накопиченим об'ємом.

Зростаюча кількість супутників, що використовуються сьогодні для дистанційного зондування, дозволяє легко отримати доступ до надзвичайної кількості спостережень (знімків) з високим часовим і просторовим розподілом. Основні перешкоди для використання потрібних знімків пов'язані з їх отриманням, обробкою, зберіганням та візуалізацією. Більшість організацій, установ та підприємств не мають належних баз даних, засобів зберігання та обчислювальних потужностей для обробки великої кількості супутникових знімків. Хоча так звані водні індекси довели свою ефективність в управлінні,

оцінці та моніторингу поверхневих водних ресурсів, не існує точних або автоматичних методик з використанням супутникових знімків для заповнення прогалів у даних, пов'язаних з моніторингом водосховищ. Але з використанням Google Earth Engine, розраховані значення, отримані за прийнятою певною методологією, порівнюються з існуючими історичними даними, що дають змогу отримати дуже хороші кореляції. Ефективною методикою для дослідження змін водного покриву за певними роками на потрібній території, є зміни у часі.

Метод виявлення змін у часі за допомогою дистанційного зондування – це метод, який використовує аналіз даних дистанційного зондування, наприклад супутникових зображень, для виявлення та аналізу змін, які відбуваються на земній поверхні в різний час.

Цей метод виявляє, кількісно визначає та аналізує зміни в земному покриві, екосистемах, водних ресурсах тощо. Основна мета – виявлення та вивчення динаміки змін, що відбулися за різні періоди часу.

Техніки Change Detection:

1. Класифікація. Порівняння класів земельного покриву на різних зображеннях за допомогою мультиспектральної класифікації даних.
2. Зміна індексів. Порівняння таких індикаторів, як вегетаційні індекси (NDVI, NDWI тощо) для виявлення змін рослинності та водного покриву в різні періоди часу.
3. Перепіксельний підхід. Використовується для порівняння характеристик пікселів в одному місці на зображеннях, зроблених у різний час. Це може включати порівняння значень спектральних показників, що відображаються на супутникових зображеннях.
4. Аналіз часових етапів. Аналіз зв'язків між показниками з різних часових знімків, показники часових рядів, визначення мінливих тенденцій.

5. Піксель-об'єктивний підхід. Використовується для виявлення змін на основі груп об'єктів або пікселів з урахуванням їх просторових, спектральних і структурних властивостей. Це включає сегментацію зображення для виявлення об'єктів і порівняння цих об'єктів на різних зображеннях [37].

Використання методів дистанційного зондування, зміни в часі, дозволяє не тільки виявляти зміни на поверхні Землі, але й аналізувати ці зміни, щоб зрозуміти їх причини та вплив на навколишнє середовище. Це важливо для прийняття рішень у різних сферах: управління природними ресурсами, охорона навколишнього середовища, просторове планування тощо.

Зв'язок між змінами ґрунтового покриву та гідрологією досліджувався в різних просторових і часових масштабах. Однак роль змін клімату і землекористування залежить від водного покриву, оскільки коли, де і як відбуваються процеси – все це має різний вплив на гідрологію і залежить від положення ландшафту і часу таких явищ, як опади і посуха. Зміна ґрунтового покриву, як правило, вважається локальним явищем, де вплив порушення зменшується зі збільшенням просторового масштабу. На відміну від цього, вплив регіональних кліматичних змінних може однаково впливати на водозбірні басейни різного розміру в одному регіоні.

Гідрологічний цикл – це повторюваний наслідок різних форм руху води та зміни її фізичного стану на певній ділянці землі. Рослинний покрив певної території є важливим фактором, що впливає на гідрологію водозбору. Це також впливає на кількість водних ресурсів у межах водозбору. Протягом багатьох років спостерігається зменшення земельного покриву в межах водозбору, спричинене переважно вирубкою лісів та іншою діяльністю людини. Ця значна зміна земельного покриву призвела до екстремального збільшення стоку води у всіх струмках і річках водозбору, що вплинуло на водний баланс території, оскільки змінилася насиченість і форма рельєфу місцевості.

Ще однією причиною зменшення водних площ є – водна ерозія, вона негативно впливає на продуктивність сільськогосподарських угідь, зрештою роблячи землю повністю непридатною для ведення сільського господарства. Залежно від причин і стадій, існують різні типи водної ерозії. Щоб запобігти будь-якому типу водної ерозії та її негативним наслідкам, фермери повинні правильно обробляти ґрунт, щоб ніколи не виникало жодних проблем, пов'язаних з водою.

Сучасне сільське господарство пропонує різні способи, які допомагають фермерам стежити за здоров'ям ґрунту. Вони включають відстеження параметрів вологості та опадів, що дозволяє фермерам виявити загрозу деградації ґрунту водою та вчасно вжити необхідних заходів.

Саме для відстеження параметрів вологості та опадів ефективно використовувати Google Earth Engine, де можна створити запит на карти земельного покриття і різні часи, та зробити аналіз за певними показниками (див.рис.5.1).

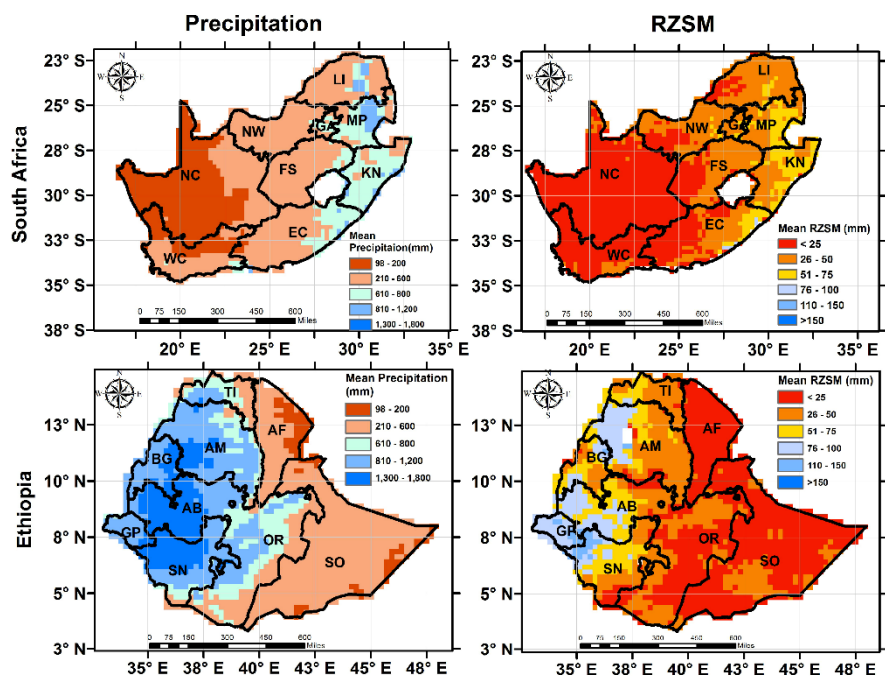


Рис.5.1. Просторова мінливість опадів [40]

Зображення містить інформацію про кількість опадів на різних площах у різні пори року. За допомогою цього дослідники, можуть спрогнозувати подальший розвиток опадів, і створити план дій для уникнення відповідних проблем.

Користуючись методом зміни у часі за допомогою Google Earth Engine та мови програмування JavaScript, у попередніх розділах було досліджено зміни водного покриву у Львівській області за 2015-2020р. Результати дослідження показали, що у 2020р. у порівнянні з 2015р., збільшилися площі водного покриття та голого ґрунту, натомість рослинне покриття займає лише 10.3% від усіх видів класифікації земельного покриву. Існує ряд причин, що могли вплинути на процес зменшення рослинності та збільшення голих ґрунтів і води. Саме тому необхідно опрацювати ці аспекти та розробити заходи, щодо збереження рослинного покриву.

Одними з таких заходів можуть бути:

1. Вирощення власних зелених культур. Інвестиції в їстівний сад дають можливість вирощувати широкий спектр цікавих рослин зі смаком, свіжішим, ніж можна купити за гроші. Відмова від супермаркетів на користь домашніх овочів, зелені та фруктів не лише економить гроші, але й допомагає захистити планету.
2. Використання натуральних пестицидів. Хоча пестициди можуть захищати рослини, для яких вони призначені, вони можуть забруднювати ґрунт, воду та іншу рослинність, завдаючи шкоди птахам, риbam, корисним комахам та нецільовим рослинам. Це може мати руйнівний вплив на запилення, виводячи з рівноваги всю екосистему.
3. Посадка дерев та іншої рослинності.
4. Берігти дерева та ліси у місцевості.
5. Підтримка лісозахисних організацій.

Існує багато способів та засобів по збільшенню рослинності, тому необхідно дотримуватися їх, аби уникнути катастрофічного зменшення зелених площ.

Висновки до розділу 5

Отже, картографування зміни земного покриву за допомогою супутникових зображень і сервісів Google Earth Engine є важливим інструментом для захисту навколишнього середовища та стратегій управління ресурсами.

Застосування методів зміни земного покриву на основі супутникових зображень у середовищі Google Earth Engine дозволяє ефективно виявляти, відображати та аналізувати зміни, які відбуваються на поверхні Землі з часом. Підхід моніторингу екосистем дає змогу виявляти зміни в рослинності, водних ресурсах, землекористуванні та інших аспектах екосистем, забезпечуючи ефективний моніторинг і реагування на зміни навколишнього середовища.

Результати картографування зміни ґрунтового покриву надають цінні дані для прийняття рішень щодо управління ресурсами, захисту біорізноманіття, управління вирубкою лісів і моніторингу стану водойм та інших природних ресурсів. Дослідження змін ґрунтового покриву є основою для подальшого аналізу впливу діяльності людини на навколишнє середовище. Отримані дані дозволять ефективно планувати територію, розробляти стратегії управління землекористуванням та впроваджувати необхідні заходи з охорони навколишнього середовища.

Таким чином, застосування картографування змін ґрунтового покриву за допомогою супутникових зображень у середовищі Google Earth Engine є важливим інструментом для моніторингу, збереження та розуміння динаміки змін у природному середовищі.

ВИСНОВОК

Отже, в результаті написання дипломної роботи було проаналізовано сучасні можливості картографування зміни земельного покриття з використанням супутникових знімків в середовищі Google Earth Engine.

1. Сучасні методи картографування з використанням супутникових знімків дають можливість виявляти зміни земельного покриття з часом та оцінювати вплив людської діяльності на природні ресурси. Дані, отримані з супутників, дозволяють моніторити зміни в екосистемах, стані водних ресурсів, завдяки чому є можливість управляти землекористуванням, вирішувати екологічні проблеми та розробляти стратегії розвитку.
2. Земельний покрив Львівської області містить: водні об'єкти, лісові масиви, промислові і міські території та сільськогосподарські угіддя. За останні 8 років на території області відбулися розширення міських територій, зміни в лісовому покриві, збільшення міських територій та сільськогосподарських угідь, що залишило свій відбиток у зміні площ водних об'єктів.
3. Створення тематичних карт зміни площі водного покриття у Львівській області за 2015-2020рр. дали змогу зробити висновки, що протягом цього часу найбільші зміни спостерігалися у 2020 році, коли зафіксовані значення NDVI вказували на збільшення вологості місць у порівнянні з попередніми роками, завдяки чому можна проаналізувати динаміку розподілу водних ресурсів у визначених областях.
4. Аналізуючи результати дослідження з використанням методу change detection, можна зробити висновки, що у Львівській області відбулися певні зміни у земельному покриві з 2015-2022рр., а саме: збільшення відсотку площі голого ґрунту (59.5%), зменшення відсотку площі

рослинності (10.3%), збільшення відсотку площі водного покриття (30.2%).

Отже, використання супутникових знімків у Google Earth Engine для картографування зміни земельного покриття є зручним та ефективним інструментом для аналізу, моніторингу і управління природним середовищем та землекористуванням. Адже використовуючи доступні методи обробки зображень користувач отримує дані, на основі яких можна сформулювати планування природоохоронних заходів, розробити екологічні стратегії та прийняти управлінські рішення щодо використання певних ресурсів природи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bhandari, A. K., A. Kumar, and Girish Kumar Singh. Improved feature extraction scheme for satellite images using NDVI and NDWI technique based on DWT and SVD. *Arabian Journal of Geosciences* 8 (2015): 6949-6966.
2. Chapter 7 Raster Geospatial Data - Discrete | Geographic Data Science with R: Visualizing and Analyzing Environmental Change. URL: <https://bookdown.org/mcwimberly/gdswr-book/raster-geospatial-data---discrete.html>. (Дата звернення: 03.09.2023р.).
3. Connor, Richard. The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world. Vol. 1. UNESCO publishing, 2015.
4. Explaining Image Classification in Land Use & Land Cover Studies – Samburg Geospatial. URL: <https://samburggeospatial.com/image-classification/>. (Дата звернення: 05.09.2023р.).
5. GeoGuide: про геодезію, картографію, геоінформатику та інше. URL: <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gis>. (Дата звернення: 06.09.2023р.).
6. Gharbia, Salem S., et al. Land use scenarios and projections simulation using an integrated GIS cellular automata algorithms. *Modeling earth systems and environment*. 2016, 1-20.
7. Gomez, Basil, and David M. Livingston. The river it goes right on: Post-glacial landscape evolution in the upper Waipaoa River basin, eastern North Island, New Zealand. *Geomorphology* 159 (2012): 73-83.
8. Google Earth Engine: Code Editor. URL: <https://scienceparkstudygroup.github.io/GoogleEarthEngine/02-code-editor/>. (Дата звернення: 08.09.2023р.).
9. Leveraging the Google Earth Engine for Drought Assessment Using Global Soil Moisture Data.
10. Supervised Land Cover Classification using Google Earth Engine and JavaScript | by North American Geoscientists Organization | Medium. URL:

- <https://medium.com/@northamericangeoscientistsorg/supervised-land-cover-classification-using-google-earth-engine-and-javascript-9f7740d84863>. (Дата звернення: 09.09.2023р.).
- 11.Багмут І., Фігурська В. Розробка та порівняння моделей глибокого навчання для сегментації супутникових зображень з метою локалізації ерозії ґрунтів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів №2. 2022, с.29-37.
 - 12.Бубенка П.Т. Економіка довкілля і природних ресурсів: навчальний посібник / за заг. ред; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Х.: ХНУМГ, 2014. – 280 с.
 - 13.Ваколюк, М., О. Сахацький М, Тарнопольський А. Використання даних супутникової зйомки в управлінні земельними ресурсами сільськогосподарського призначення. Землевпорядний вісник №7. 2015, с.28-33.
 - 14.Води поверхневі — ВУЕ. URL: https://vue.gov.ua/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%96. (Дата звернення: 10.10.2023р.).
 - 15.Вступ до JavaScript. URL: <https://uk.javascript.info/intro>. (Дата звернення: 08.09.2023р.).
 - 16.ГІС Карти: Види, Інтерактивні Функції Та Застосування. URL: <https://eos.com/uk/blog/gis-karty/>. (Дата звернення: 06.09.2023р.).
 - 17.Гнатушенко В. В, Шедловська Я. І. Тематична класифікація супутникових знімків високої просторової роздільної здатності // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2018. №3-2 (66).
 - 18.Ґрунтовий покрив земельних ділянок | LIGA:ZAKON. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/TM024422>. (Дата звернення: 01.09.2023р.).

19. Давибіда Л. І. Аналіз можливостей і досвіду використання платформи Google Earth Engine для вирішення задач моніторингу довкілля. *Ecological Safety & Balanced Use of Resources* №24.2. 2021.
20. Довгий С. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах. 2020.
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=14283. (Дата звернення: 13.12.2023р.).
22. Жигайло О. Л. Моделювання антропогенного забруднення ґрунтово-рослинного покриву та методи його контролю: конспект лекцій. 2005.
23. Замислова О. В. Порівняння контрольованої та неконтрольованої класифікації супутникових знімків дистанційного зондування Землі.
24. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Ніжин, 2014. – 492 с.
25. Зацерковний В. І. Геоінформаційні системи в науках про Землю: монографія. 2016.
26. Карпінський, Ю., Лазоренко-Гевель Н. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів №35. 2018, с.204-211.
27. Каштан В. Ю., Гнатушенко В. В. Дослідження ефективності методів злиття супутникових знімків високого просторового розрізнення. *APPLIED QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELLING*. 2020, с.117-127.
28. Краснощок, С. Л. Моніторинг зміни площ поверхневих вод за допомогою використання супутникової геодезії. Матеріали.
29. Лобода, Ю. Г., Орлова О. Ю. Аналітичні та моделюючі функції ГІС. 2016.
30. Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://moz.gov.ua/>. (Дата звернення: 13.12.2023р.).
31. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA. Київ, 2013. 316 с.

- 32.Новачок О, М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Основи гідроінформатики» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форми навчання. Рівне: НУВГП, 2019. - 32 с.
- 33.Паньків З. П., Наконечний Ю.І. Земельні ресурси. Навчальний посібник.–Видавничий центр ЛНУ імені Івана-Франка. 2008, с.272.
- 34.Петрович О., Шутяк С. Природоорієнтовані рішення водному, лісовому та аграрному секторах для відновлення України у повоєнний період та подальшого сталого розвитку з урахуванням зміни клімату. Збірник матеріалів проєкту INSURE. – Київ, 2022. 88 с.
- 35.Подзерей Р. В. Антропогенні ґрунторуйнівні процеси, їх причини та наслідки. 2016.
- 36.Про затвердження Правил безпеки ... | від 16.11.1998 № 219. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0793-98#Text>. (Дата звернення: 13.12.2023р.).
- 37.Про затвердження Правил безпеки п... | від 16.03.2004 № 81. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0620-04#Text>. (Дата звернення: 13.12.2023р.).
- 38.Про охорону праці | від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 13.12.2023р.).
- 39.Романчук, І. Ф. Визначення впливу водного режиму ґрунтів на ступінь їх деградації з використанням космічних знімків та даних наземної польової завірки. Український журнал дистанційного зондування Землі №17. 2018, с.26-30.
- 40.Семенова, І. Г. Супутникова метеорологія: Конспект лекцій. 2008.
41. Швайко В.Г., Фернець В.П. Середовище розробки Microsoft Visual Code, мова програмування JavaScript з використанням бібліотек JavaScript ArcGIS API та ReactJS. URL:

https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/59082/1/FernetsViktor_bakalavr.pdf.

(Дата звернення: 06.09.2023р.).

42. Шевчук В., Бурштинська Х., Садовська О. Визначення передавальних характеристик знімальної системи супутника Landsat 7. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва №2. 2010, с.225-230.

43. Що таке API? - SEO 24. URL: <https://seo24.kiev.ua/rozrobka/shho-take-api/>.

(Дата звернення: 08.09.2023р.).

44. Що таке ергономічність? Цілі, завдання, основні вимоги. Ergo Place. URL:

<https://ergo.place/shcho-take-erhonomichnist-tsili-zavdannia-ta-vymohy-do-robochoho-prostoru-ta-erhonomichnykh-mebliv/>.

(Дата звернення:

13.12.2023р.).

45. Щурко Д. І. Методичні аспекти застосування Google Earth Engine в екологічному моніторингу лісів.

46. Ямелинець Т, Ментон М. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженні ґрунтів і ґрунтового покриву. С.197.