

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА,  
ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем

## **Пояснювальна записка**

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра

на тему: **«КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ  
ОБЛАСТІ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ»**

Виконала: студентка 4 курсу, групи ГКЗ 2022-1

Спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

ОП Геодезія, картографія та землеустрій



Сливченко Вероніка Русланівна



Керівник: Радзінська Юлія Борисівна

Рецензент:




Мамонов Костянтин Анатолійович

2026 рік

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії  
Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій  
Освітня програма Геодезія, картографія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ЗА та ГІС  
д.е.н., проф. Мамонов К. А.

 Восстановимая подпись

X 

Подписано: f054cc53-ba06-45d3-8422-a8d59cd399bb





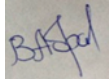
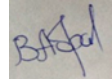
«25» травня 2026 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Сливченко Вероніці Русланівні

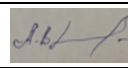
1. Тема проєкту (роботи) Класифікація земельних ресурсів Черкаської області за даними ДЗЗ  
керівник проєкту (роботи) Радзінська Юлія Борисівна, к.т.н., доцент  
затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 441-03
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18 червня 2026 року
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) супутникові дані, відкриті геопросторові дані OpenStreetMap, картографічні матеріали, матеріали ДЗК, наукові публікації
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) теоретичні основи класифікації земельних ресурсів за даними ДЗЗ, методика класифікації земельних ресурсів, створення карти класифікації земель
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) адміністративно-територіальний устрій, карта класифікації земельних ресурсів, карти просторового розподілу.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Радзінська Юлія Борисівна, доцент		
2	Радзінська Юлія Борисівна, доцент		
3	Радзінська Юлія Борисівна, доцент		
4	Абракітов В. Е. доцент кафедри О.П. та БЖД		

7. Дата видачі завдання 25 травня 2026 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Формування інформаційної бази	25.05.26	Виконано
2.	Розробка та написання першого розділу роботи	03.06.26	Виконано
3.	Розробка та написання другого розділу роботи	09.06.26	Виконано
4.	Розробка та написання третього розділу роботи	12.06.26	Виконано
5.	Розробка та написання розділу з охорони праці	15.06.26	Виконано
6.	Оформлення роботи та нормоконтроль	18.06.26	
7.	Попередній захист роботи		
8.	Захист дипломної роботи у ДЕК		

Студентка



Сливченко В. Р.

Керівник проекту (роботи)



Радзінська Ю. Б.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., 16 рис., 2 табл., 23 джерела, 21 слайдів презентації.

ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕМАТИЧНА КАРТА, КОСМІЧНИЙ ЗНІМОК, СУПУТНИКОВІ ДАНІ.

Об'єкт проєктування – земельні ресурси Черкаської області.

Мета дипломної роботи – класифікація земельних ресурсів Черкаської області на основі даних дистанційного зондування Землі та створення тематичних карт земного покриву із застосуванням геоінформаційних технологій.

Предмет проєктування – процеси класифікації земельних ресурсів на основі даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу.

Впровадження результатів дослідження сприятиме розвитку методів дистанційного зондування Землі, геоінформаційного аналізу, цифрової обробки супутникових зображень, тематичної класифікації растрових даних, картографічного моделювання та статистичної оцінки точності результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання створених тематичних карт та результатів класифікації земельних ресурсів для ведення земельного кадастру, здійснення моніторингу землекористування, підтримки землевпорядних робіт, оцінки стану земельних ресурсів та прийняття управлінських рішень на регіональному рівні.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	6
ВСТУП .....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.....	10
1.1 Земельні ресурси Черкаської області як об’єкт геоінформаційного аналізу.....	10
1.2 Дані дистанційного зондування Землі для класифікації земельних ресурсів .....	15
1.3 Сучасні методи класифікації земного покриву та земельних ресурсів .....	22
2 МЕТОДИКА КЛАСИФІКАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	28
2.1 Формування інформаційної бази дослідження.....	28
2.2 Методика тематичної класифікації земель .....	32
2.3 Геоінформаційна обробка результатів класифікації.....	38
3 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ .....	44
3.1 Створення карти класифікації земель Черкаської області .....	44
3.2. Аналіз структури земельних ресурсів .....	48
3.3 Аналіз точності класифікації.....	55
3.4 Практичне застосування результатів класифікації .....	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	66
4.1 Загальні положення .....	66
4.2 Аналіз умов праці на об’єкті .....	67
4.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці на робочому місці.....	68
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях та пожежна безпека.....	74
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	82

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Дистанційне зондування Землі – метод отримання інформації про земну поверхню без безпосереднього контакту з об'єктом дослідження, зокрема за допомогою супутникових знімків, радарних даних та інших дистанційних засобів.

Геоінформаційний аналіз – процес дослідження просторових даних у середовищі ГІС з метою виявлення закономірностей розміщення об'єктів, оцінювання структури земельних ресурсів і формування тематичних карт.

Земельні ресурси – сукупність земель певної території, що мають природні, просторові, правові, економічні та екологічні характеристики і використовуються або можуть використовуватися для задоволення суспільних потреб.

Тематична класифікація – метод обробки супутникових зображень, за якого кожному пікселю або об'єкту присвоюється певний клас земного покриття чи землекористування.

Sentinel-1 – радарна супутникова місія програми Copernicus, що забезпечує отримання даних із використанням радіолокаційної зйомки незалежно від хмарності та часу доби.

Sentinel-2 – оптична супутникова місія програми Copernicus, що забезпечує отримання мультиспектральних знімків земної поверхні з просторовою роздільною здатністю до 10 метрів.

SAR – радар із синтезованою апертурою, що використовується для отримання радіолокаційних зображень земної поверхні.

ГІС – географічна інформаційна система.

ЦМР – цифрова модель рельєфу.

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі.

## ВСТУП

Раціональне використання земельних ресурсів є одним із основних завдань сучасного управління територіальним розвитком. Земля виступає базовим природним ресурсом, який забезпечує функціонування аграрного виробництва, розвиток населених пунктів, збереження природних екосистем та формування економічного потенціалу регіонів. У сучасних умовах інтенсивного господарського освоєння територій, зростання антропогенного навантаження та необхідності забезпечення сталого розвитку особливого значення набуває отримання актуальної інформації про стан і структуру земельного фонду.

Традиційні методи обліку земельних ресурсів базуються на використанні матеріалів землевпорядних робіт, кадастрової документації та польових обстежень. Проте такі підходи потребують значних часових і фінансових витрат, а отримані результати часто не забезпечують достатньої оперативності оновлення інформації. У зв'язку з цим важливого значення набувають технології дистанційного зондування Землі та геоінформаційні системи, які дозволяють отримувати просторову інформацію про території практично в режимі реального часу та здійснювати комплексний аналіз змін земного покриття.

Останніми роками спостерігається стрімкий розвиток супутникових систем спостереження Землі. Особливе значення має реалізація європейської програми Copernicus, у межах якої забезпечено відкритий доступ до високоточних супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2. Дані цих супутників характеризуються високою просторовою, спектральною та часовою роздільною здатністю, що створює широкі можливості для дослідження структури землекористування, моніторингу сільськогосподарських угідь, оцінки стану лісових масивів, водних об'єктів та урбанізованих територій.

Одним із найбільш ефективних напрямів використання матеріалів дистанційного зондування є класифікація земельних ресурсів. Процес класифікації передбачає автоматизоване або напівавтоматизоване віднесення

ділянок території до певних категорій земного покриття на основі аналізу спектральних характеристик супутникових знімків. Використання сучасних алгоритмів класифікації дозволяє отримувати достовірні тематичні карти, які можуть бути використані для потреб землеустрою, земельного кадастру, екологічного моніторингу та територіального планування.

Черкаська область належить до регіонів України з високим рівнем сільськогосподарського освоєння території. Значна частка земельного фонду представлена орними землями, що забезпечують розвиток агропромислового комплексу. Водночас на території області розташовані великі лісові масиви, водні об'єкти басейну Дніпра, природоохоронні території та урбанізовані зони. Така різноманітність землекористування зумовлює необхідність постійного моніторингу структури земельних ресурсів та оцінювання змін земного покриття.

Сучасні геоінформаційні технології та дані дистанційного зондування дозволяють створювати актуальні цифрові карти земельних ресурсів, проводити аналіз просторового розподілу окремих категорій земель та визначати особливості їх використання. Особливу актуальність такі дослідження набувають в умовах цифровізації земельних відносин, розвитку Національної інфраструктури геопросторових даних та удосконалення системи державного земельного кадастру.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності моніторингу земельних ресурсів Черкаської області шляхом використання сучасних методів обробки супутникових даних та геоінформаційного аналізу. Використання матеріалів дистанційного зондування Землі забезпечує можливість оперативного отримання актуальної інформації про структуру земного покриття, виявлення змін у землекористуванні та підтримки процесів прийняття управлінських рішень у сфері земельних відносин.

Метою роботи є класифікація земельних ресурсів Черкаської області на основі даних дистанційного зондування Землі та створення тематичних карт земного покриття із застосуванням геоінформаційних технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні підходи до класифікації земельних ресурсів за даними дистанційного зондування Землі;
- дослідити можливості використання супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2 для класифікації земельного покриву;
- сформувати інформаційну базу геопросторових даних для території Черкаської області;
- розробити методичку тематичної класифікації земельних ресурсів;
- виконати класифікацію земельного покриву Черкаської області;
- здійснити аналіз структури земельних ресурсів та оцінити точність отриманих результатів;
- визначити можливості практичного використання результатів дослідження для завдань землеустрою, кадастру та моніторингу земель.

Об'єктом дослідження є земельні ресурси Черкаської області.

Предметом дослідження є методи та технології класифікації земельних ресурсів на основі даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу.

Методи дослідження включають методи дистанційного зондування Землі, геоінформаційного аналізу, цифрової обробки супутникових зображень, тематичної класифікації растрових даних, картографічного моделювання та статистичної оцінки точності результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання створених тематичних карт та результатів класифікації земельних ресурсів для ведення земельного кадастру, здійснення моніторингу землекористування, підтримки землепорядних робіт, оцінки стану земельних ресурсів та прийняття управлінських рішень на регіональному рівні.

Інформаційною основою дослідження є супутникові дані Sentinel-1 та Sentinel-2 програми Copernicus, відкриті геопросторові дані OpenStreetMap, матеріали державного земельного кадастру, картографічні матеріали та наукові публікації, присвячені питанням дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

## 1.1 Земельні ресурси Черкаської області як об'єкт геоінформаційного аналізу

Земельні ресурси є одним із найважливіших компонентів природно-ресурсного потенціалу держави та виступають основою розвитку господарської діяльності, забезпечення продовольчої безпеки, формування екологічної рівноваги та просторового розвитку територій [1]. В умовах сучасних трансформацій земельних відносин особливого значення набуває створення ефективних механізмів моніторингу стану земель, оцінювання характеру їх використання та своєчасного виявлення змін у структурі землекористування. Вирішення таких завдань неможливе без застосування геоінформаційних систем і технологій дистанційного зондування Землі, які забезпечують отримання актуальної та достовірної інформації про територію дослідження.

Черкаська область є одним із провідних аграрних регіонів центральної частини України та характеризується значним рівнем господарського освоєння земельного фонду. Територія області займає вигідне географічне положення у межах лісостепової природної зони, що сприяє розвитку сільськогосподарського виробництва та формуванню високопродуктивних агроландшафтів. Саме тому дослідження структури земельних ресурсів Черкаської області є актуальним завданням як для органів державного управління, так і для науковців, землевпорядників та фахівців у сфері геоінформаційних технологій.

Черкаська область розташована у центральній частині України та входить до складу Центрального економічного району (рис. 1.1). Територія області становить близько 20,9 тис. км<sup>2</sup>, що відповідає приблизно 3,5 % площі держави. На півночі область межує з Київською областю, на сході – з Полтавською, на південному сході – з Кіровоградською, на заході – з Вінницькою областю.

Важливим природним елементом території є річка Дніпро та створене на її основі Кременчуцьке водосховище, які суттєво впливають на природні умови регіону та структуру землекористування.



Рисунок 1.1 – Розташування Черкаської області в межах України [10]

Фізико-географічні умови Черкаської області визначаються її розташуванням у межах Придніпровської височини та Придніпровської низовини. Рельєф території характеризується значною різноманітністю. Правобережна частина області має більш розчленований характер поверхні з розвиненою мережею балок і ярів, тоді як лівобережна частина відзначається переважно рівнинними формами рельєфу. Абсолютні висоти коливаються від 80 до понад 270 метрів над рівнем моря. Така морфологічна структура безпосередньо впливає на характер використання земель, розвиток ерозійних процесів та формування сільськогосподарських угідь [10].

Клімат Черкаської області є помірно континентальним із теплим літом та помірно м'якою зимою. Середньорічна температура повітря становить близько +8...+9 °С, а середня річна кількість опадів коливається в межах 500–600 мм. Кліматичні умови регіону є сприятливими для вирощування широкого спектра сільськогосподарських культур, серед яких провідне місце займають зернові, технічні та кормові культури. Водночас кліматичні зміни останніх десятиліть

призводять до збільшення частоти посушливих періодів, що підвищує значення систем моніторингу земельних ресурсів та оцінювання стану рослинного покриву за допомогою супутникових даних.

Ґрунтовий покрив Черкаської області представлений переважно чорноземами різних типів. Значна частина території характеризується наявністю типових, опідзолених та звичайних чорноземів, які належать до найбільш родючих ґрунтів України. Високий рівень природної родючості зумовив інтенсивне сільськогосподарське освоєння території та формування значних площ орних земель. Разом із тим багаторічне господарське використання призвело до розвитку деградаційних процесів, серед яких особливу небезпеку становлять водна ерозія, зниження вмісту гумусу, ущільнення ґрунтів та порушення екологічної стійкості агроландшафтів.

Значний вплив на формування земельних ресурсів області має її гідрографічна мережа. Основною водною артерією є річка Дніпро, в межах якої розташоване Кременчуцьке водосховище. Крім того, територією області протікають численні притоки Дніпра, серед яких Тясмин, Рось, Гірський Тікич, Гнилий Тікич, Супій та інші річки. Водні об'єкти формують особливі природні комплекси та визначають розташування земель водного фонду, прибережних захисних смуг і природоохоронних територій.

У сучасних умовах земельний фонд Черкаської області характеризується високим ступенем освоєння. Сільськогосподарські угіддя займають переважну частину території регіону. Значну площу становить рілля, що є характерною особливістю більшості областей лісостепової зони України. Високий рівень розораності території забезпечує значні обсяги сільськогосподарського виробництва, однак одночасно створює ризики деградації земель та порушення природного балансу екосистем.

Структура земельного фонду Черкаської області включає декілька основних категорій земель. Найбільшу площу займають землі сільськогосподарського призначення. До їх складу входять орні землі, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища та перелоги. Другою за площею

категорією є землі лісового фонду, які виконують важливі природоохоронні, водорегулюючі та рекреаційні функції. Окреме місце займають землі водного фонду, забудовані території, землі природоохоронного призначення та інші категорії земель.

Висока частка орних земель є однією з ключових характеристик земельного фонду області. За різними оцінками рівень розораності території перевищує середні показники по Україні та становить понад половину загальної площі регіону. Така структура землекористування є результатом багаторічного розвитку аграрного виробництва та сприятливих природних умов. Водночас надмірне сільськогосподарське освоєння призводить до скорочення площ природних екосистем і підвищення екологічних ризиків.

Лісові масиви області представлені переважно дубовими, сосновими та мішаними лісами. Найбільші лісові площі зосереджені у північній та західній частинах регіону, а також у долинах річок. Ліси виконують важливу роль у збереженні біорізноманіття, регулюванні водного режиму територій та захисті ґрунтів від ерозії. Саме тому контроль за станом лісового фонду є одним із важливих напрямів геоінформаційного моніторингу.

Значне місце у структурі земельного фонду області займають населені пункти та урбанізовані території. Найбільшими містами регіону є Черкаси, Умань, Сміла, Золотоноша та Канів. Розвиток транспортної інфраструктури, промислових об'єктів та житлової забудови супроводжується змінами структури землекористування, що потребує регулярного оновлення геопросторових даних та контролю за використанням земель.

Після проведення адміністративно-територіальної реформи структура управління територіями Черкаської області зазнала суттєвих змін. Було утворено укрупнені райони та територіальні громади, що сприяло підвищенню ролі місцевого самоврядування у сфері управління земельними ресурсами (рис. 1.2). Відповідно зросла потреба в актуальній просторовій інформації для забезпечення процесів планування територій, розроблення документації із землеустрою та прийняття управлінських рішень.



Рисунок 1.2 – Адміністративно-територіальний устрій Черкаської області [10]

Однією з найбільш актуальних проблем сучасного використання земельних ресурсів Черкаської області є необхідність забезпечення постійного моніторингу стану земель. Традиційні методи спостережень часто не дозволяють оперативно реагувати на зміни землекористування, особливо на великих територіях. Саме тому дистанційне зондування Землі та геоінформаційні системи набувають вирішального значення у сфері управління земельними ресурсами.

Супутникові дані дозволяють отримувати інформацію про стан земного покриву з високою періодичністю та значною просторовою деталізацією. Використання матеріалів місій Sentinel-1 та Sentinel-2 забезпечує можливість виявлення змін у структурі сільськогосподарських угідь, контролю за станом посівів, аналізу лісових територій, моніторингу водних об'єктів та оцінювання

процесів урбанізації. Особливо цінною є можливість отримання інформації про великі території без необхідності проведення суцільних польових обстежень.

Геоінформаційний аналіз земельних ресурсів передбачає інтеграцію супутникових даних із кадастровою інформацією, цифровими картами, даними OpenStreetMap та іншими джерелами просторових даних. Такий підхід дозволяє не лише здійснювати класифікацію земельного покриття, але й оцінювати просторові закономірності розміщення окремих категорій земель, аналізувати динаміку змін та формувати інформаційну основу для прийняття управлінських рішень [7, 11].

Таким чином, земельні ресурси Черкаської області є складним багатокомпонентним об'єктом геоінформаційного аналізу, який характеризується значною різноманітністю природних та антропогенних ландшафтів. Високий рівень господарського освоєння території, значна частка сільськогосподарських угідь, наявність лісових масивів, водних об'єктів та урбанізованих територій зумовлюють необхідність застосування сучасних технологій дистанційного зондування Землі для моніторингу та класифікації земельних ресурсів. Використання геоінформаційних систем створює передумови для отримання об'єктивної інформації про структуру землекористування та забезпечує ефективне управління земельним фондом регіону.

## 1.2 Дані дистанційного зондування Землі для класифікації земельних ресурсів

Сучасний розвиток геоінформаційних технологій нерозривно пов'язаний із використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які забезпечують можливість оперативного отримання просторової інформації про природні та антропогенні об'єкти. Супутникові системи спостереження стали одним із основних джерел даних для вирішення широкого спектра завдань у галузі землеустрою, земельного кадастру, екологічного моніторингу, аграрного виробництва та територіального планування. Особливе значення дані ДЗЗ

мають для класифікації земельних ресурсів, оскільки дозволяють отримувати інформацію про стан земного покриву на великих територіях із високою просторовою та часовою деталізацією [6].

Останнє десятиріччя характеризується стрімким розвитком супутникових програм спостереження Землі. Однією з наймасштабніших міжнародних ініціатив у цій сфері стала програма Copernicus, яка реалізується Європейським Союзом за підтримки Європейського космічного агентства. У межах цієї програми користувачам надається безкоштовний доступ до великого обсягу супутникових даних високої якості, що відкриває нові можливості для проведення просторового аналізу територій та створення тематичних карт земного покриву [14, 15].

Для виконання класифікації земельних ресурсів Черкаської області найбільший інтерес становлять супутникові місії Sentinel-1 та Sentinel-2. Поєднання радарних та оптичних даних дозволяє отримати комплексну інформацію про земну поверхню та підвищити достовірність результатів класифікації [12, 13].

Супутники Sentinel-1 є радарними космічними апаратами, оснащеними системою синтезованої апертури (Synthetic Aperture Radar – SAR). Головною особливістю радарних даних є їх незалежність від погодних умов та часу доби. На відміну від оптичних супутників, які фіксують відбиту сонячну радіацію, радарна система самостійно випромінює електромагнітний сигнал та реєструє його відбиття від поверхні Землі [15].

Завдяки цьому супутники Sentinel-1 забезпечують отримання інформації навіть за наявності суцільної хмарності, опадів або в нічний час. Для території Черкаської області така особливість є надзвичайно важливою, оскільки в окремі періоди року значна хмарність може суттєво ускладнювати використання оптичних даних [12].

Основними характеристиками даних Sentinel-1 є висока періодичність спостережень, значна площа охоплення території та наявність двох каналів поляризації – VV та VH. Аналіз співвідношення між цими каналами дозволяє

оцінювати структуру рослинного покриву, ступінь зволоження ґрунтів, особливості забудови та інші характеристики земної поверхні [15].

Для використання радарних даних у процесі класифікації земель необхідно виконати їх попередню обробку. Основними етапами підготовки даних Sentinel-1 є [15]:

- уточнення орбітальних параметрів супутникових знімків;
- радіометричне калібрування;
- усунення спекл-шумів за допомогою спеціалізованих фільтрів;
- геометрична корекція та приведення до єдиної системи координат;
- перетворення значень зворотного розсіювання у децибельну шкалу;
- формування єдиних багатоканальних радарних композитів.

У результаті виконання зазначених процедур отримуються стандартизовані набори даних, придатні для подальшого геоінформаційного аналізу та інтеграції з іншими джерелами просторової інформації.

Попри значні переваги радарних даних, самостійне використання Sentinel-1 не завжди забезпечує достатню деталізацію окремих категорій земель. Саме тому найкращі результати досягаються шляхом комбінування радарної інформації з оптичними даними Sentinel-2 [13].

Оптичні супутники Sentinel-2 є одним із найпоширеніших джерел даних для картографування земного покриву та класифікації земельних ресурсів. Місія Sentinel-2 складається з двох супутників – Sentinel-2A та Sentinel-2B, які функціонують на сонячно-синхронних орбітах та забезпечують повторне покриття території кожні 5 діб [14].

Для території Черкаської області супутникові знімки Sentinel-2 забезпечують регулярне отримання інформації з просторовою роздільною здатністю до 10 метрів, що є достатнім для вирішення більшості прикладних завдань землеустрою та земельного моніторингу (рис. 1.3).

Особливістю супутників Sentinel-2 є наявність мультиспектрального сканера MSI (MultiSpectral Instrument), який здійснює знімання земної поверхні у тринадцяти спектральних діапазонах. Використання різних діапазонів

дозволяє аналізувати фізичні властивості об'єктів та розрізняти різні типи земного покриття [14].

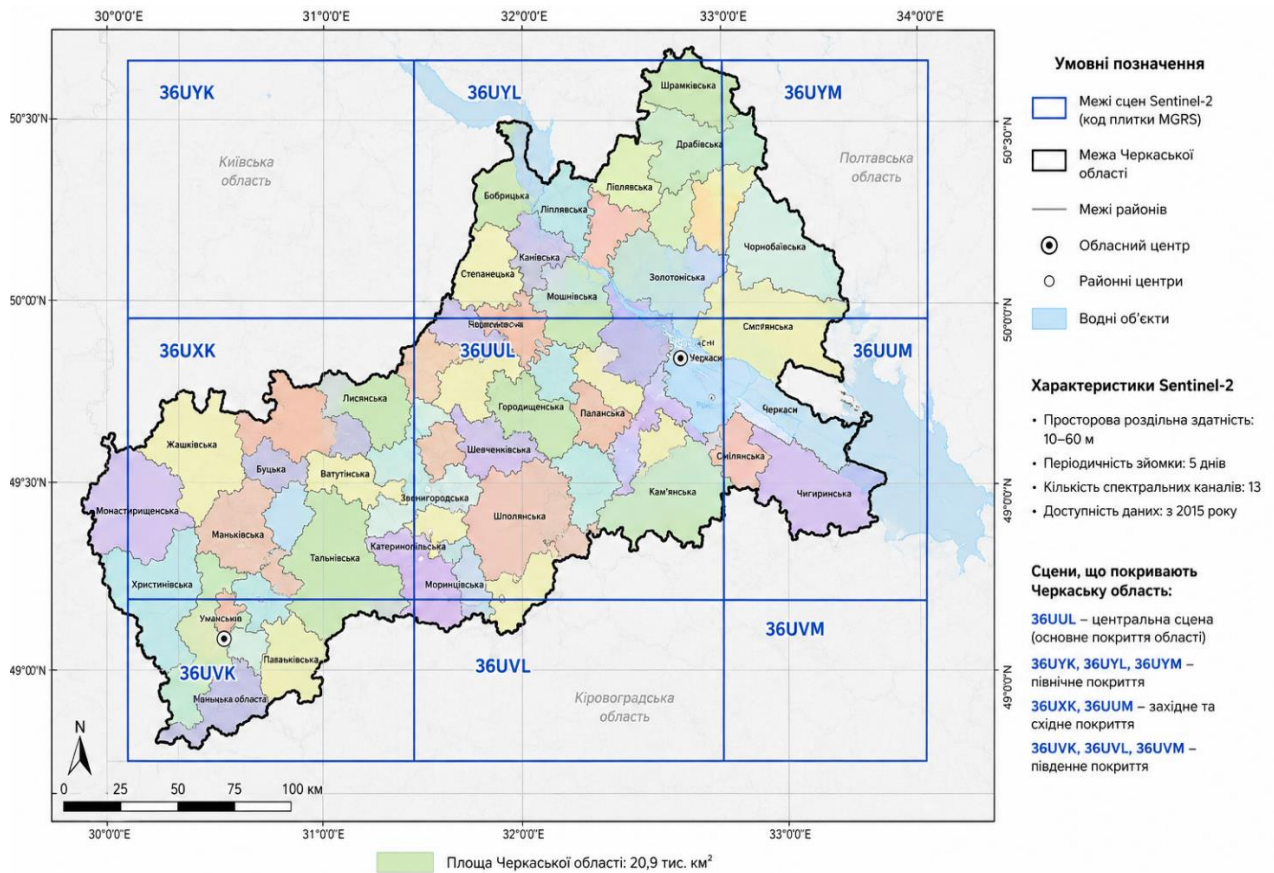


Рисунок 1.3 – Схема покриття Черкаської області супутниковими даними Sentinel-2

Територія Черкаської області повністю перекривається супутниковими сценами Sentinel-2. Залежно від розташування конкретної ділянки можуть використовуватися одна або декілька суміжних сцен. Це забезпечує можливість формування безперервного покриття області та створення єдиних мозаїк супутникових зображень для подальшого аналізу.

Для виконання класифікації земельних ресурсів найбільше значення мають спектральні канали видимого, ближнього інфрачервоного та короткохвильового інфрачервоного діапазонів (табл. 1.1, рис. 1.4).

Таблиця 1.1 – Основні спектральні канали супутника Sentinel-2 [14]

Канал	Центральна довжина хвилі, нм	Просторова роздільна здатність, м
B1	443	60
B2	490	10
B3	560	10
B4	665	10
B5	705	20
B6	740	20
B7	783	20
B8	842	10
B8A	865	20
B9	945	60
B10	1375	60
B11	1610	20
B12	2190	20



Рисунок 1.4 – Спектральні діапазони супутника Sentinel-2

Видимий спектр використовується для аналізу кольорових характеристик поверхні. Ближній інфрачервоний діапазон є особливо інформативним при оцінці стану рослинності, тоді як короткохвильові інфрачервоні канали

дозволяють досліджувати вологість ґрунтів, ступінь деградації рослинності та особливості мінерального складу поверхні.

Ефективність класифікації земельних ресурсів значною мірою залежить від якості підготовки вихідних супутникових даних. Перед виконанням класифікації необхідно здійснити комплекс процедур попередньої обробки, спрямованих на усунення похибок та забезпечення просторової узгодженості даних.

Для супутникових знімків Sentinel-2 найбільш поширеним є використання продуктів рівня L2A, які вже містять результати атмосферної корекції. Проте навіть після отримання таких даних необхідно виконати додаткові операції підготовки [14].

Першим етапом є контроль якості вихідних матеріалів та відбір сцен із мінімальною хмарністю. Для території Черкаської області особливо актуальним є використання літніх та весняних знімків, коли рослинний покрив досягає максимальної активності.

Наступним кроком є маскуванню хмар та їх тіней. У складі продуктів Sentinel-2 міститься спеціальний класифікаційний шар SCL (Scene Classification Layer), який дозволяє автоматично визначати області, вкриті хмарами, тінями або іншими атмосферними перешкодами [14].

Після цього виконується приведення всіх каналів до єдиної просторової роздільної здатності. Оскільки окремі спектральні канали Sentinel-2 мають роздільну здатність 10, 20 та 60 метрів, виникає необхідність їх ресемплінгу до спільного розміру пікселя. Завершальним етапом є формування багатоканального растрового набору даних, який використовується як вхідна інформація для класифікаційних алгоритмів.

Для підвищення точності тематичної класифікації поряд із вихідними спектральними каналами широко використовуються спектральні індекси. Вони дозволяють підсилити відмінності між окремими категоріями земного покриття та полегшують автоматичне розпізнавання об'єктів.

Одним із найвідоміших індексів є нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Він

використовується для оцінювання стану рослинності та визначається на основі співвідношення відбиття у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах. Високі значення NDVI характерні для густої здорової рослинності, тоді як низькі значення відповідають забудованим територіям, відкритому ґрунту або водним об'єктам.

Для виявлення водних поверхонь застосовується індекс NDWI (Normalized Difference Water Index). Його використання дозволяє ефективно ідентифікувати річки, озера, ставки, водосховища та заболочені території. Особливо важливим цей індекс є для аналізу земель водного фонду Черкаської області, значна частина яких пов'язана з акваторією Кременчуцького водосховища.

Для дослідження забудованих територій широко використовується індекс NDBI (Normalized Difference Built-up Index). Він базується на особливостях відбиття електромагнітного випромінювання штучними поверхнями та дозволяє виділяти міську забудову, промислові майданчики, транспортну інфраструктуру та інші антропогенні об'єкти.

Комбіноване використання спектральних каналів Sentinel-2, радарних даних Sentinel-1 та тематичних індексів NDVI, NDWI і NDBI забезпечує формування інформативного набору ознак, який дозволяє ефективно класифікувати земельні ресурси Черкаської області та створювати достовірні карти земного покриття.

Таким чином, супутникові місії Sentinel-1 та Sentinel-2 є основним джерелом даних для класифікації земельних ресурсів Черкаської області. Їх поєднання забезпечує отримання комплексної інформації про територію дослідження незалежно від погодних умов, а використання спектральних індексів та сучасних методів попередньої обробки дозволяє суттєво підвищити точність подальшого геоінформаційного аналізу.

### 1.3 Сучасні методи класифікації земного покриву та земельних ресурсів

Розвиток технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем суттєво змінив підходи до аналізу земельних ресурсів. Якщо раніше створення карт землекористування та земного покриву базувалося переважно на польових дослідженнях, аерофотозніманні та ручній інтерпретації картографічних матеріалів, то сьогодні основним джерелом інформації виступають супутникові дані високої просторової та часової роздільної здатності. Використання сучасних алгоритмів обробки супутникових зображень дозволяє автоматизувати процес класифікації земель та забезпечувати регулярне оновлення інформації про структуру земного покриву [6].

Класифікація земного покриву являє собою процес віднесення окремих пікселів або об'єктів супутникового зображення до певних тематичних категорій на основі їх спектральних, текстурних, просторових або часових характеристик. Отримані результати використовуються для створення тематичних карт, оцінювання структури землекористування, моніторингу змін територій та прийняття управлінських рішень.

У сучасній практиці дистанційного зондування найбільшого поширення набули глобальні та регіональні продукти класифікації земного покриву, які створюються на основі багаторічних супутникових спостережень та сучасних алгоритмів машинного навчання. До найбільш відомих міжнародних проєктів належать ESA WorldCover (рис. 1.5) та Copernicus Global Land Service. Значну роль у створенні таких продуктів відіграють хмарні геоінформаційні платформи, серед яких особливе місце займає Google Earth Engine.

Одним із найсучасніших міжнародних продуктів класифікації земного покриву є глобальна карта ESA WorldCover, розроблена Європейським космічним агентством. Основною метою проєкту стало створення високодеталізованої карти земного покриву для всієї поверхні Землі на основі відкритих супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2 [17].

До появи WorldCover більшість глобальних карт земного покриття створювалися з просторовою роздільною здатністю від 100 до 300 метрів, що обмежувало можливості їх використання для регіонального аналізу. Проект ESA WorldCover став першим глобальним продуктом, який забезпечив просторову деталізацію на рівні 10 метрів. Такий рівень деталізації суттєво розширив можливості аналізу землекористування та дозволив значно точніше відображати межі окремих об'єктів [17].

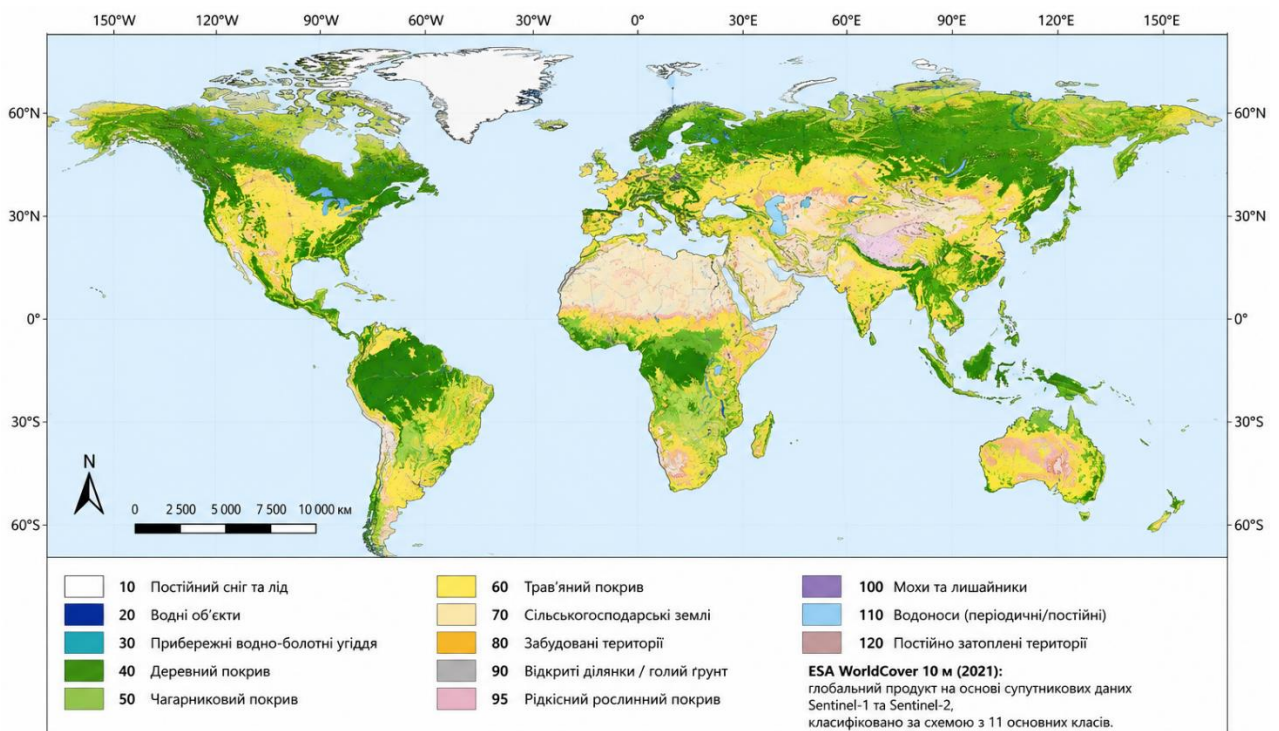


Рисунок 1.5 – Глобальна карта земного покриття ESA WorldCover

Для створення карти використовуються дані оптичних супутників Sentinel-2 та радарних супутників Sentinel-1. Поєднання двох типів інформації забезпечує високу стійкість класифікації до атмосферних умов та сезонних особливостей територій. Радарні дані дозволяють компенсувати втрати інформації через хмарність, тоді як оптичні знімки забезпечують високу інформативність щодо фізичних властивостей земної поверхні.

Технологія створення продукту ESA WorldCover включає три основні етапи. Перший етап передбачає збір та попередню обробку супутникових даних. На цьому етапі виконуються атмосферна корекція, усунення хмарності,

формування часових рядів спостережень та розрахунків спектральних індексів. Другий етап пов'язаний із навчанням моделей класифікації на основі великої кількості еталонних даних. Для цього використовуються алгоритми машинного навчання та експертні набори навчальних полігонів. Третій етап передбачає інтеграцію отриманих результатів у єдину глобальну карту земного покриття.

Карта ESA WorldCover містить одинадцять основних класів земного покриття:

- ліси;
- чагарники;
- луки та природні трав'янисті угруповання;
- сільськогосподарські угіддя;
- забудовані території;
- відкриті ґрунти;
- водні об'єкти;
- болота;
- мангрові ліси;
- мохи та лишайники;
- сніговий покрив.

Особливий інтерес для дослідження земельних ресурсів Черкаської області становлять класи сільськогосподарських земель, лісів, водних об'єктів та забудованих територій. Саме вони формують основну структуру землекористування регіону та можуть бути використані як еталонні дані під час проведення власної класифікації.

Однією з головних переваг ESA WorldCover є її висока просторово-часова актуальність. Продукт регулярно оновлюється, що дозволяє використовувати його для аналізу динаміки землекористування та виявлення змін у структурі земного покриття. Крім того, карта перебуває у відкритому доступі та може бути інтегрована у більшість сучасних геоінформаційних систем.

Іншим важливим міжнародним продуктом є Copernicus Global Land Service (CGLS), який також створений у межах програми Copernicus. На відміну

від ESA WorldCover, цей сервіс орієнтований не лише на створення карт земного покриття, а й на забезпечення постійного моніторингу змін навколишнього середовища.

Основою сервісу є багаторічні супутникові спостереження, які дозволяють відстежувати зміни земельного покриття на глобальному рівні. Для побудови карт використовуються дані різних супутникових місій, включаючи Sentinel-2, PROBA-V та інші джерела дистанційного зондування.

Однією з ключових особливостей сервісу є використання часових рядів спостережень. На відміну від традиційних методів класифікації, що базуються на окремих супутникових знімках, CGLS аналізує сезонну динаміку земного покриття протягом року. Це дозволяє підвищити точність розпізнавання різних типів рослинності та сільськогосподарських угідь [18].

Система класифікації Copernicus Global Land Service включає такі основні категорії:

- ліси;
- чагарникова рослинність;
- луки;
- болота;
- відкриті ґрунти;
- сільськогосподарські угіддя;
- забудовані території;
- водні об'єкти;
- території зі сніговим покривом;
- території з мохово-лишайниковою рослинністю.

Важливою перевагою цього продукту є його орієнтація на моніторинг змін. Користувач може не лише отримати інформацію про поточний стан земного покриття, але й проаналізувати його трансформацію протягом тривалого періоду часу. Для Черкаської області це відкриває можливості дослідження процесів урбанізації, змін площ сільськогосподарських угідь, динаміки лісових масивів та трансформації водних екосистем.

Крім карт земного покриття, сервіс надає широкий спектр додаткових продуктів, серед яких карти рослинності, індекси біомаси, характеристики вологості поверхні та інші показники, що можуть використовуватися для поглибленого аналізу земельних ресурсів.

Створення сучасних карт земного покриття неможливе без використання потужних обчислювальних платформ. Одним із найвідоміших інструментів такого типу є Google Earth Engine (GEE) (рис. 1.6).

Google Earth Engine являє собою хмарне середовище для зберігання, обробки та аналізу великих обсягів геопросторових даних. Платформа була створена компанією Google для підтримки наукових досліджень та практичного використання даних дистанційного зондування Землі [19].

Основною перевагою Google Earth Engine є наявність величезного архіву супутникових даних, який постійно оновлюється. Користувачі мають доступ до даних Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat, MODIS, цифрових моделей рельєфу, кліматичних даних та багатьох інших наборів просторової інформації [19].

Архітектура системи побудована таким чином, що всі обчислення виконуються безпосередньо на серверах Google. Це дозволяє працювати з терабайтами супутникових даних без необхідності їх завантаження на локальний комп'ютер. У результаті значно скорочується час обробки інформації та спрощується процес виконання складних аналітичних операцій.

Для задач класифікації земельних ресурсів Google Earth Engine забезпечує доступ до широкого набору алгоритмів машинного навчання. Найбільш поширеними серед них є Random Forest, CART, Support Vector Machine та інші методи автоматичної класифікації. Використання цих алгоритмів дозволяє створювати тематичні карти високої точності навіть для великих територій.

Платформа підтримує програмування мовами JavaScript та Python, що забезпечує високий рівень автоматизації процесів аналізу даних. Крім того, Google Earth Engine дозволяє інтегрувати результати досліджень із геоінформаційними системами, зокрема ArcGIS та QGIS.

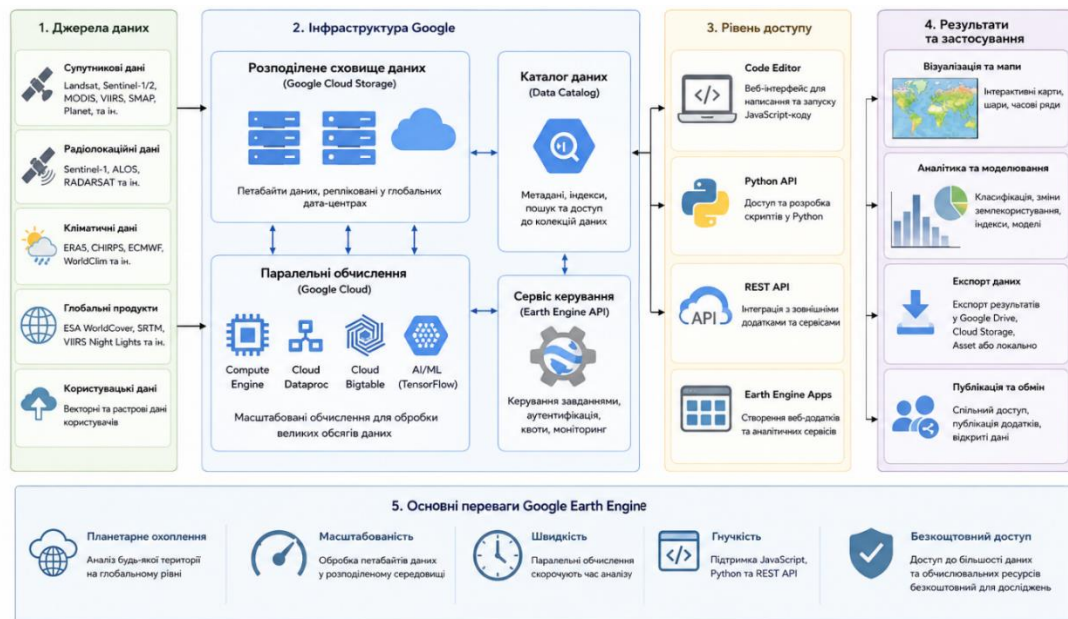


Рисунок 1.6 – Архітектура Google Earth Engine

Для дослідження земельних ресурсів Черкаської області використання Google Earth Engine є особливо доцільним, оскільки дозволяє швидко отримувати супутникові дані, виконувати їх попередню обробку, розраховувати спектральні індекси та проводити автоматизовану класифікацію земного покриття без потреби у високопродуктивному локальному обладнанні.

У сучасних умовах саме Google Earth Engine фактично став стандартом для виконання масштабних задач дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу. Поєднання відкритих супутникових даних, потужних обчислювальних ресурсів і сучасних алгоритмів машинного навчання робить цю платформу одним із найефективніших інструментів для класифікації земельних ресурсів.

Таким чином, сучасні методи класифікації земного покриття базуються на використанні високоякісних супутникових даних, хмарних технологій та алгоритмів машинного навчання. Продукти ESA WorldCover і Copernicus Global Land Service забезпечують готові глобальні карти земного покриття, тоді як Google Earth Engine надає інструментарій для створення власних класифікаційних моделей. Використання зазначених підходів створює надійну методичну основу для виконання класифікації земельних ресурсів Черкаської області та подальшого аналізу структури землекористування регіону.

## 2 МЕТОДИКА КЛАСИФІКАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

### 2.1 Формування інформаційної бази дослідження

Якість результатів класифікації земельних ресурсів значною мірою залежить від повноти, достовірності та актуальності вихідних геопросторових даних. Формування інформаційної бази дослідження є одним із ключових етапів виконання робіт із класифікації земельного покриву, оскільки саме на цьому етапі визначається склад вхідних даних, джерела їх отримання, способи підготовки та інтеграції у єдине геоінформаційне середовище. Для забезпечення високої точності класифікації земельних ресурсів Черкаської області було сформовано комплексну базу геоданих, яка включає супутникові знімки Sentinel-2, векторні межі адміністративно-територіальних одиниць, матеріали земельного кадастру та відкриті просторові дані OpenStreetMap.

Особливістю сучасних геоінформаційних досліджень є необхідність інтеграції різномірних джерел інформації. Якщо супутникові дані забезпечують відомості про фактичний стан земного покриву на момент знімання, то кадастрові та картографічні матеріали дозволяють уточнювати межі об'єктів, виконувати валідацію результатів класифікації та проводити подальший аналіз структури землекористування. Саме тому під час формування інформаційної бази дослідження застосовано комплексний підхід до збору та обробки просторових даних.

Основним джерелом інформації для виконання класифікації земельних ресурсів стали супутникові дані місії Sentinel-2. Вибір саме цього джерела обумовлений низкою переваг, серед яких відкритий доступ до матеріалів, висока просторова роздільна здатність, регулярність оновлення та наявність багатоспектральної інформації. Супутники Sentinel-2 забезпечують отримання знімків із просторовою деталізацією до 10 метрів, що є достатнім для ідентифікації основних категорій земного покриву на регіональному рівні.

Для території Черкаської області було відібрано супутникові сцени, які характеризуються мінімальним рівнем хмарності та належать до вегетаційного періоду. Використання літніх та пізньовесняних знімків забезпечує максимальне розкриття спектральних характеристик рослинного покриву, що є особливо важливим для відокремлення сільськогосподарських угідь, лісових масивів та природних луків. Дані були завантажені із сервісів Copernicus Data Space Ecosystem та Google Earth Engine, що забезпечило доступ до вже попередньо оброблених продуктів рівня L2A.

Важливим елементом інформаційної бази стали адміністративні межі Черкаської області. Векторні шари адміністративного устрою використовувалися для просторового обмеження області дослідження, створення маски території та формування кінцевих тематичних карт. Наявність точних меж дозволяє уникнути включення суміжних територій інших областей та забезпечує коректність статистичних розрахунків площ окремих категорій земель.

Крім зовнішньої межі області, до бази геоданих були включені межі районів та територіальних громад. Такі дані дозволяють виконувати подальший аналіз результатів класифікації на різних адміністративних рівнях та забезпечують можливість проведення просторових досліджень у межах окремих територіальних громад. Особливо актуальним це є в умовах децентралізації управління земельними ресурсами та розширення повноважень органів місцевого самоврядування.

Наступним важливим компонентом інформаційної бази стали матеріали Державного земельного кадастру. Кадастрові дані використовувалися як додаткове джерело інформації про структуру земельного фонду області та дозволяли зіставляти результати автоматизованої класифікації із наявною офіційною інформацією. Особливу цінність кадастрові матеріали мають для оцінки достовірності отриманих результатів, аналізу категорій земель та формування статистичних показників землекористування.

Використання кадастрових даних у поєднанні із супутниковими знімками дозволяє вирішувати низку важливих завдань. По-перше, забезпечується

можливість перевірки правильності віднесення окремих ділянок до певних класів земного покриття. По-друге, кадастрова інформація може використовуватися як джерело навчальних вибірок для алгоритмів класифікації. По-третє, інтеграція результатів класифікації з кадастровими даними дозволяє формувати додаткові аналітичні показники щодо структури земельного фонду та особливостей використання території.

Окрему складову інформаційної бази дослідження становили відкриті просторові дані OpenStreetMap. Проєкт OpenStreetMap є одним із найбільших світових джерел відкритої геопросторової інформації та містить детальні відомості про транспортну інфраструктуру, забудову, гідрографічну мережу, об'єкти соціальної інфраструктури та інші елементи місцевості. Для території Черкаської області OpenStreetMap забезпечує достатньо повне покриття основних категорій об'єктів, що робить його цінним джерелом додаткової інформації.

Особливе значення дані OpenStreetMap мають під час класифікації забудованих територій. Наявність контурів будівель, дорожньої мережі та інших урбанізованих об'єктів дозволяє уточнювати результати автоматичного дешифрування супутникових знімків та підвищувати точність класифікації. Крім того, відкриті дані можуть використовуватися як допоміжний інструмент для візуальної інтерпретації результатів та проведення експертної оцінки.

Формування інформаційної бази дослідження передбачало виконання ряду технологічних операцій із підготовки вихідних даних. Першим етапом стала перевірка систем координат усіх наборів даних та приведення їх до єдиної картографічної основи. Оскільки різні джерела можуть використовувати різні системи координат, виникає необхідність їх уніфікації для забезпечення коректного просторового аналізу.

Наступним етапом було виконання геометричної перевірки векторних шарів. Особлива увага приділялася усуненню топологічних помилок, які можуть виникати під час об'єднання даних із різних джерел. До таких помилок належать розриви контурів, дублювання об'єктів, накладання полігонів та інші порушення топологічної структури просторових даних.

Після завершення перевірки даних було виконано формування єдиної геобазис дослідження (рис. 2.1). Для цього всі растрові та векторні матеріали були інтегровані у середовище геоінформаційної системи QGIS. Створена база геоданих забезпечила централізоване зберігання інформації та можливість виконання подальших процедур аналізу, класифікації та картографування.

Важливою перевагою сформованої інформаційної бази є її комплексний характер. Використання супутникових даних Sentinel-2 забезпечує отримання актуальної інформації про стан земного покриття, кадастрові дані дозволяють виконувати просторову прив'язку результатів до офіційної системи обліку земель, а OpenStreetMap надає додаткову інформацію про інфраструктурні та антропогенні об'єкти. Поєднання цих джерел створює надійну основу для проведення тематичної класифікації земельних ресурсів Черкаської області.

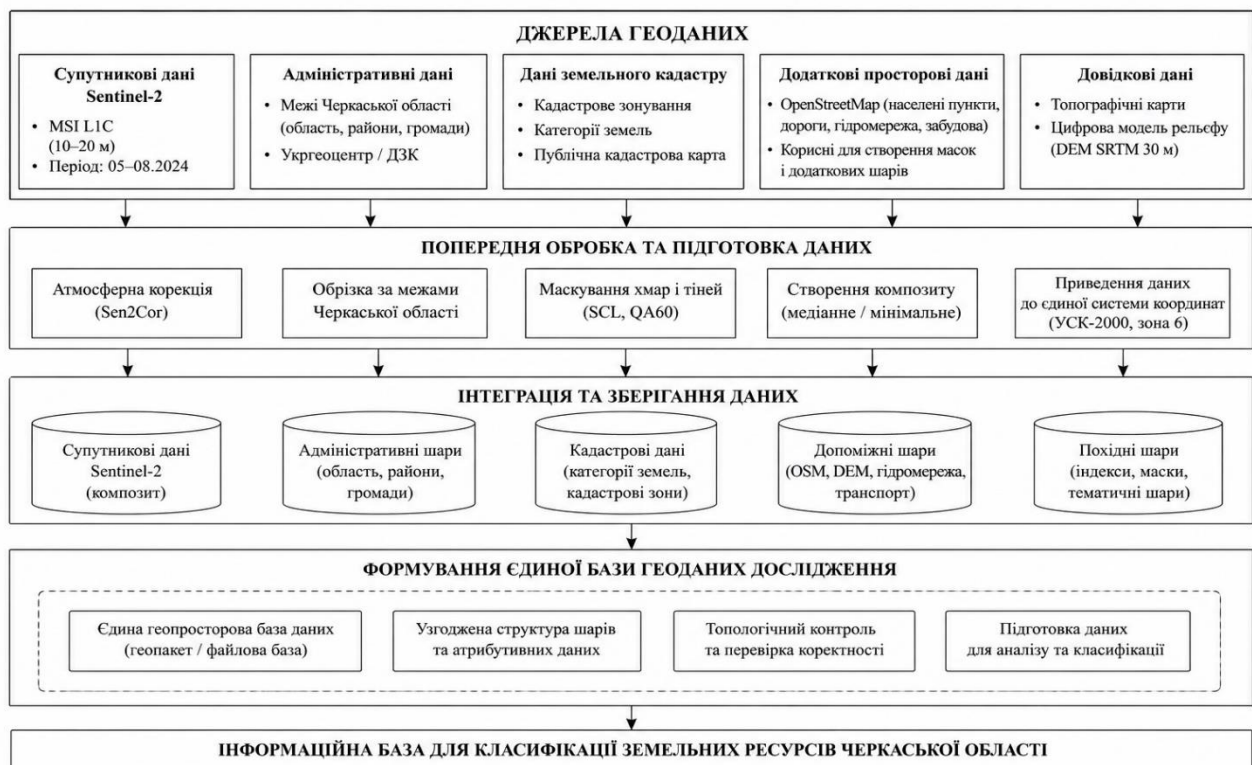


Рисунок 2.1 – Схема формування бази геоданих дослідження

Таким чином, сформована інформаційна база дослідження поєднує різноманітні джерела геопросторової інформації та забезпечує необхідний рівень деталізації для виконання класифікації земельних ресурсів Черкаської області.

Комплексне використання супутникових даних, кадастрових матеріалів та відкритих картографічних ресурсів створює надійну основу для подальшого геоінформаційного аналізу та отримання достовірних результатів класифікації земного покриву.

## 2.2 Методика тематичної класифікації земель

Одним із ключових етапів дослідження земельних ресурсів Черкаської області є виконання тематичної класифікації супутникових знімків. Саме класифікація дозволяє автоматизовано визначити просторовий розподіл основних категорій земного покриву та сформувати цифрову карту земельних ресурсів. На відміну від традиційного візуального дешифрування, яке потребує значних часових витрат і залежить від кваліфікації виконавця, сучасні алгоритми класифікації забезпечують можливість швидкої обробки великих обсягів супутникових даних із достатньо високою точністю.

У загальному вигляді тематична класифікація являє собою процес віднесення кожного пікселя супутникового зображення до одного з наперед визначених класів земного покриву на основі його спектральних характеристик. У межах даного дослідження класифікація виконувалася для виділення основних категорій земельних ресурсів Черкаської області, серед яких:

- рілля;
- ліси;
- луки та природна рослинність;
- водні об'єкти;
- забудовані території;
- інші землі.

Вибір зазначених класів обумовлений структурою земельного фонду області та можливістю їх надійного розпізнавання за супутниковими даними Sentinel-2.

Сучасна практика дистанційного зондування Землі передбачає використання двох основних підходів до класифікації: контрольованої (supervised classification) та неконтрольованої (unsupervised classification). У даному дослідженні використовується контрольована класифікація, оскільки вона забезпечує вищу точність результатів і дозволяє враховувати особливості конкретної території.

Суть контрольованої класифікації полягає у створенні набору навчальних даних, для яких заздалегідь відомий тип земного покриття. На основі цих даних алгоритм формує статистичну або математичну модель, яка надалі використовується для розпізнавання аналогічних об'єктів на всій території дослідження.

Для реалізації класифікації земельних ресурсів Черкаської області було обрано два найбільш поширені алгоритми, які широко використовуються у геоінформаційних дослідженнях:

- Maximum Likelihood Classification;
- Random Forest Classification.

Застосування двох незалежних підходів дозволяє оцінити їх ефективність та визначити найбільш придатний алгоритм для задач регіонального картографування земельних ресурсів.

Метод максимальної правдоподібності (Maximum Likelihood) належить до класичних статистичних методів класифікації супутникових знімків і використовується в дистанційному зондуванні вже понад декілька десятиліть. Незважаючи на появу сучасних алгоритмів машинного навчання, цей метод залишається одним із найбільш поширених завдяки простоті реалізації та стабільності результатів.

Основою алгоритму є припущення про те, що значення пікселів кожного класу мають нормальний статистичний розподіл. Для кожного класу на основі навчальних вибірок обчислюються середні значення спектральних каналів, дисперсії та коваріаційні характеристики. Далі для кожного пікселя супутникового зображення визначається ймовірність його належності до

кожного класу. Піксель відноситься до того класу, для якого отримано максимальне значення ймовірності. Саме тому метод отримав назву максимальної правдоподібності.

Перевагами даного алгоритму є:

- простота реалізації;
- невисокі вимоги до обчислювальних ресурсів;
- зрозуміла математична інтерпретація;
- можливість використання у більшості геоінформаційних систем.

Разом із тим метод має певні недоліки. Найбільш суттєвим із них є припущення про нормальний розподіл спектральних характеристик класів, яке не завжди виконується для реальних супутникових даних. Крім того, при значному перекритті спектральних характеристик різних класів точність класифікації може знижуватися.

Незважаючи на зазначені обмеження, Maximum Likelihood залишається ефективним інструментом для регіонального картографування земельних ресурсів і широко використовується в програмному забезпеченні QGIS, ArcGIS та інших ГІС-платформах.

У сучасних дослідженнях земного покриття дедалі більшого поширення набувають алгоритми машинного навчання. Одним із найефективніших методів є Random Forest, який належить до ансамблевих алгоритмів класифікації.

Принцип роботи Random Forest базується на створенні великої кількості дерев рішень. Кожне дерево будується на випадковій підмножині навчальних даних та випадковому наборі ознак. У процесі класифікації кожне дерево формує власний прогноз щодо належності пікселя до певного класу. Остаточний результат визначається шляхом голосування всіх дерев ансамблю.

Такий підхід забезпечує високу стійкість алгоритму до шумів та випадкових похибок навчальної вибірки. На відміну від традиційних статистичних методів, Random Forest не потребує припущень щодо розподілу даних та здатний працювати зі складними нелінійними залежностями.

Основними перевагами алгоритму є:

- висока точність класифікації;
- стійкість до шумів і викидів;
- можливість використання великої кількості ознак;
- автоматичне визначення важливості вхідних параметрів;
- низька схильність до перенавчання.

Особливо ефективним Random Forest є під час використання багатоспектральних супутникових даних Sentinel-2, оскільки алгоритм здатний одночасно враховувати інформацію з усіх спектральних каналів та похідних індексів.

У багатьох сучасних дослідженнях точність класифікації із застосуванням Random Forest перевищує 85–90 %, що робить його одним із найбільш популярних інструментів аналізу земного покриття.

Якість результатів контрольованої класифікації безпосередньо залежить від правильності формування навчальної вибірки. Для кожного класу земного покриття необхідно створити репрезентативний набір навчальних полігонів, які максимально точно відображають спектральні характеристики відповідної категорії земель.

У даному дослідженні навчальні полігони створювалися шляхом візуального дешифрування супутникових знімків Sentinel-2 із використанням додаткових даних OpenStreetMap та високодетальних супутникових підкладок.

Для кожного класу було сформовано набір полігонів, що охоплюють різні частини території Черкаської області. Такий підхід дозволяє врахувати просторову неоднорідність природних умов та підвищити узагальнюючу здатність класифікаційної моделі.

Під час формування навчальних вибірок особлива увага приділялася таким вимогам:

- однорідність полігону;
- достатня кількість навчальних пікселів;
- рівномірне покриття території області;
- відсутність змішаних класів.

Правильно сформована навчальна вибірка забезпечує високу точність подальшої класифікації та зменшує кількість помилок під час розпізнавання земельного покриву.

Практична реалізація класифікації може виконуватися як у настільних геоінформаційних системах, так і в хмарних середовищах обробки геоданих.

У середовищі QGIS класифікація здійснюється за допомогою модулів Semi-Automatic Classification Plugin або інтегрованих інструментів машинного навчання. Перевагою такого підходу є можливість повного контролю над усіма етапами обробки даних та зручна інтеграція з іншими геоінформаційними інструментами.

Водночас для обробки великих територій дедалі частіше використовується платформа Google Earth Engine. Її перевагою є відсутність необхідності завантаження супутникових даних на локальний комп'ютер, а також наявність готових реалізацій алгоритмів Random Forest та інших методів машинного навчання.

У межах даного дослідження обидва підходи можуть використовуватися для виконання класифікації, однак основна схема робіт залишається однаковою та включає підготовку супутникових даних, створення навчальної вибірки, побудову класифікаційної моделі та формування тематичної карти земельних ресурсів (рис. 2.2).

Таким чином, запропонована методика тематичної класифікації базується на використанні сучасних супутникових даних Sentinel-2, алгоритмів Maximum Likelihood та Random Forest, а також інструментів геоінформаційних систем QGIS і Google Earth Engine. Застосування зазначених методів забезпечує отримання достовірної інформації про структуру земельного покриву Черкаської області та створює основу для подальшого просторового аналізу земельних ресурсів.

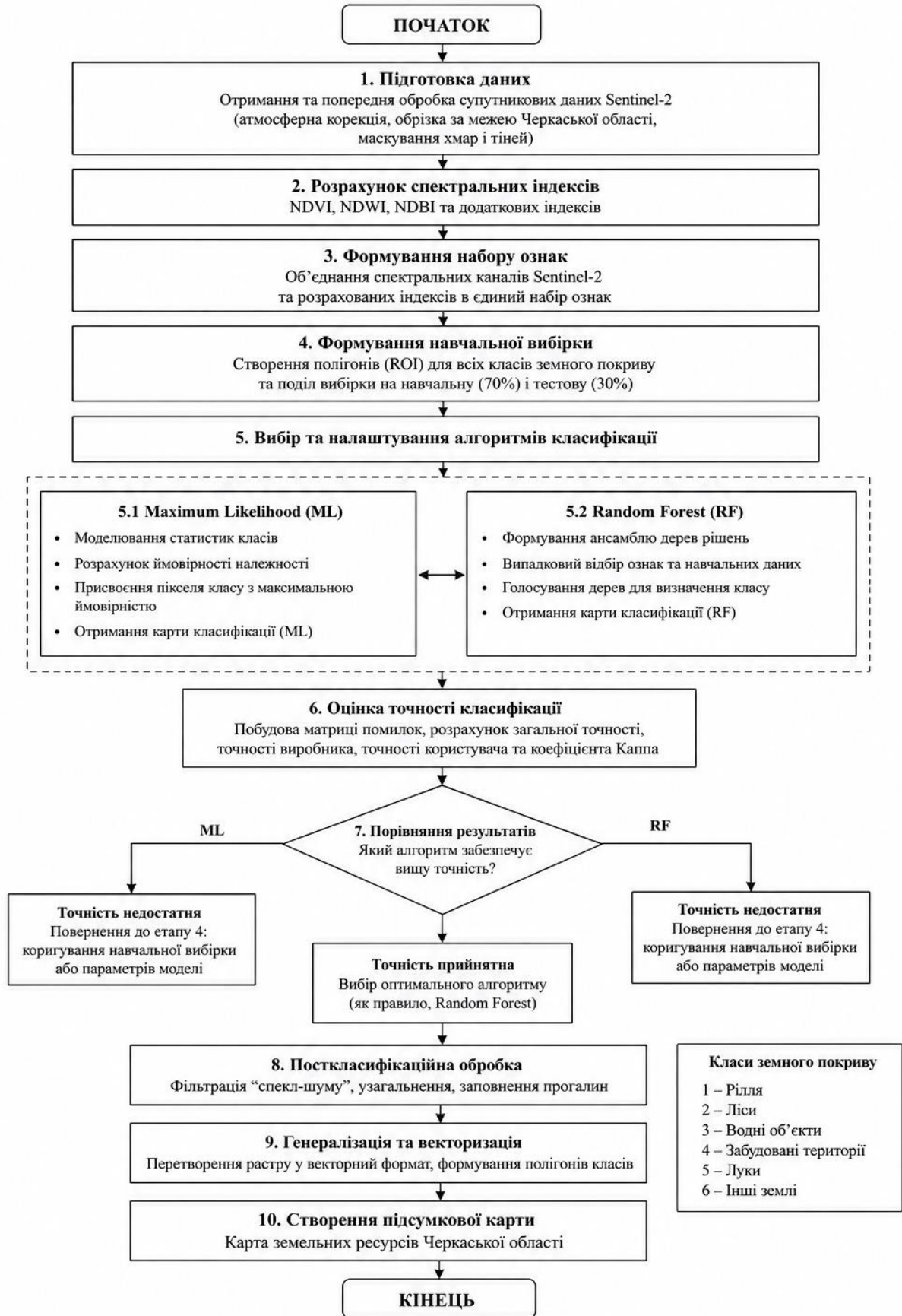


Рисунок 2.2 – Алгоритм класифікації земельних ресурсів

### 2.3 Геоінформаційна обробка результатів класифікації

Після завершення процедури тематичної класифікації супутникових даних формується первинний растровий результат, у якому кожному пікселю території дослідження присвоюється певний клас земного покриття. Однак безпосередньо отримана класифікаційна карта ще не є готовим картографічним продуктом і потребує додаткової геоінформаційної обробки. На цьому етапі здійснюється усунення випадкових помилок класифікації, підвищення візуальної якості результатів, оцінювання їх достовірності та створення тематичних карт, придатних для подальшого використання у сфері землеустрою, земельного кадастру та моніторингу земельних ресурсів.

Геоінформаційна обробка результатів класифікації є завершальним етапом технологічного процесу дослідження земельних ресурсів Черкаської області. Вона поєднує засоби просторового аналізу, методи цифрової картографії та інструменти геоінформаційних систем для підготовки кінцевого набору картографічних матеріалів.

Основними складовими цього етапу є генералізація класифікаційних результатів, векторизація тематичних шарів, оцінка точності класифікації та формування тематичних карт земельних ресурсів.

Однією з характерних особливостей автоматичної класифікації супутникових зображень є поява значної кількості дрібних ізольованих ділянок, які можуть виникати внаслідок спектральної неоднорідності поверхні, впливу шумів супутникових даних або особливостей роботи класифікаційного алгоритму. Такі ділянки часто представлені поодинокими пікселями або невеликими групами пікселів і не мають реального географічного змісту.

У процесі класифікації земель Черкаської області подібні артефакти можуть виникати між сільськогосподарськими угіддями, лісовими масивами, забудованими територіями та водними об'єктами. Наявність великої кількості дрібних полігонів суттєво ускладнює подальший аналіз та знижує якість картографічного відображення.

Для усунення таких недоліків застосовуються процедури генералізації. Генералізація являє собою процес спрощення просторової структури класифікаційного результату із збереженням його основного змісту. Основна мета генералізації полягає у формуванні більш однорідних просторових контурів та усуненні випадкових класифікаційних помилок.

Одним із найбільш поширених методів генералізації є фільтрація більшості (Majority Filter). Суть методу полягає у заміні значення центрального пікселя на найбільш поширений клас у межах визначеного вікна аналізу. Такий підхід дозволяє ефективно усувати окремі шумові пікселі та згладжувати межі між класами.

Додатково можуть застосовуватися морфологічні операції розширення та звуження областей, які дозволяють усувати дрібні розриви контурів та формувати більш цілісну структуру тематичних шарів. У випадку земельних ресурсів Черкаської області такі процедури особливо важливі для відображення великих масивів ріллі, лісів та водних об'єктів.

Результатом генералізації є зменшення кількості випадкових помилок класифікації та підвищення наочності тематичної карти.

Після завершення генералізації виникає необхідність переходу від растрового представлення результатів до векторної моделі даних. Незважаючи на те, що класифікація виконується на растрових супутникових знімках, більшість задач землеустрою та кадастрового аналізу потребує використання саме векторних даних.

Векторизація являє собою процес перетворення класифікованого растрового шару у систему полігональних об'єктів, кожен із яких відповідає певному класу земного покриву. У результаті кожна однорідна ділянка території набуває вигляду окремого полігона з відповідними атрибутивними характеристиками.

Під час виконання векторизації для території Черкаської області формуються окремі полігональні шари для таких категорій земель:

– рілля;

- ліси;
- водні об'єкти;
- забудовані території;
- луки;
- інші землі.

Після автоматичної векторизації зазвичай виникає потреба у додатковій топологічній перевірці отриманих даних. На цьому етапі здійснюється пошук та усунення помилок, серед яких:

- накладання полігонів;
- розриви контурів;
- дублювання об'єктів;
- утворення надто дрібних полігонів;
- порушення геометричної цілісності об'єктів.

Для виконання зазначених процедур використовуються інструменти топологічного контролю геоінформаційних систем QGIS та ArcGIS.

Отримані векторні шари дозволяють здійснювати розрахунок площ окремих категорій земель, виконувати просторовий аналіз та формувати тематичні карти різного призначення.

Особливо важливою перевагою векторної моделі є можливість її інтеграції з матеріалами земельного кадастру, адміністративними межами та іншими наборами геопросторових даних.

Невід'ємним етапом геоінформаційної обробки результатів є оцінювання точності отриманої класифікації. Без проведення такої оцінки неможливо визначити достовірність результатів та рівень їх придатності для практичного використання.

Точність класифікації характеризує ступінь відповідності між фактичним типом земного покриття та класом, який був присвоєний алгоритмом класифікації. Для її визначення використовуються незалежні контрольні вибірки, які не брали участі у навчанні моделі.

Процедура оцінювання передбачає порівняння результатів класифікації з еталонними даними, отриманими шляхом візуального дешифрування супутникових знімків високої роздільної здатності, матеріалів OpenStreetMap та кадастрової інформації.

Основним інструментом аналізу є матриця помилок (Confusion Matrix), яка відображає співвідношення між реальними та класифікованими категоріями земель. На основі матриці розраховуються основні статистичні показники якості класифікації.

Одним із найважливіших показників є загальна точність (Overall Accuracy), яка визначається як частка правильно класифікованих об'єктів від загальної кількості контрольних точок.

Додатково розраховуються:

- точність користувача (User's Accuracy);
- точність виробника (Producer's Accuracy);
- коефіцієнт Каппа (Kappa Coefficient).

Коефіцієнт Каппа дозволяє оцінити якість класифікації з урахуванням випадкових збігів і вважається одним із найбільш об'єктивних показників достовірності результатів.

Для сучасних задач класифікації земельних ресурсів значення загальної точності понад 85 % та коефіцієнта Каппа понад 0,8 свідчать про високу якість отриманих результатів.

Проведення оцінки точності дозволяє не лише перевірити достовірність карти земного покриття, але й визначити класи, які потребують додаткового уточнення або повторної класифікації.

Завершальним етапом геоінформаційної обробки результатів є створення тематичних карт, які забезпечують наочне відображення структури земельних ресурсів Черкаської області.

Тематична карта є одним із найбільш ефективних засобів представлення результатів просторового аналізу. Вона дозволяє візуалізувати розподіл

окремих категорій земель та забезпечує можливість проведення подальших аналітичних досліджень.

У межах даного дослідження передбачається створення комплексу тематичних карт, серед яких:

- карта класифікації земельних ресурсів Черкаської області;
- карта розподілу ріллі;
- карта лісових земель;
- карта забудованих територій;
- карта земель водного фонду;
- карта просторової структури землекористування.

Під час оформлення тематичних карт використовуються принципи сучасного картографічного дизайну. Для кожного класу земного покриття підбираються кольорові схеми, які відповідають міжнародним стандартам картографування. Зокрема, лісові території відображаються відтінками зеленого кольору, водні об'єкти – синім кольором, забудова – сірими або червоними відтінками, а сільськогосподарські угіддя – жовтими та світло-коричневими кольорами.

Важливим елементом оформлення є створення легенди, масштабної лінійки, координатної сітки та інших картографічних елементів, які забезпечують правильне сприйняття інформації користувачем.

Сучасні геоінформаційні системи дозволяють не лише створювати друковані картографічні матеріали, але й формувати інтерактивні цифрові карти, які можуть використовуватися в інформаційних системах моніторингу земельних ресурсів та геопорталах територіальних громад.

Технологічна схема обробки результатів представлена на рисунку 2.3.

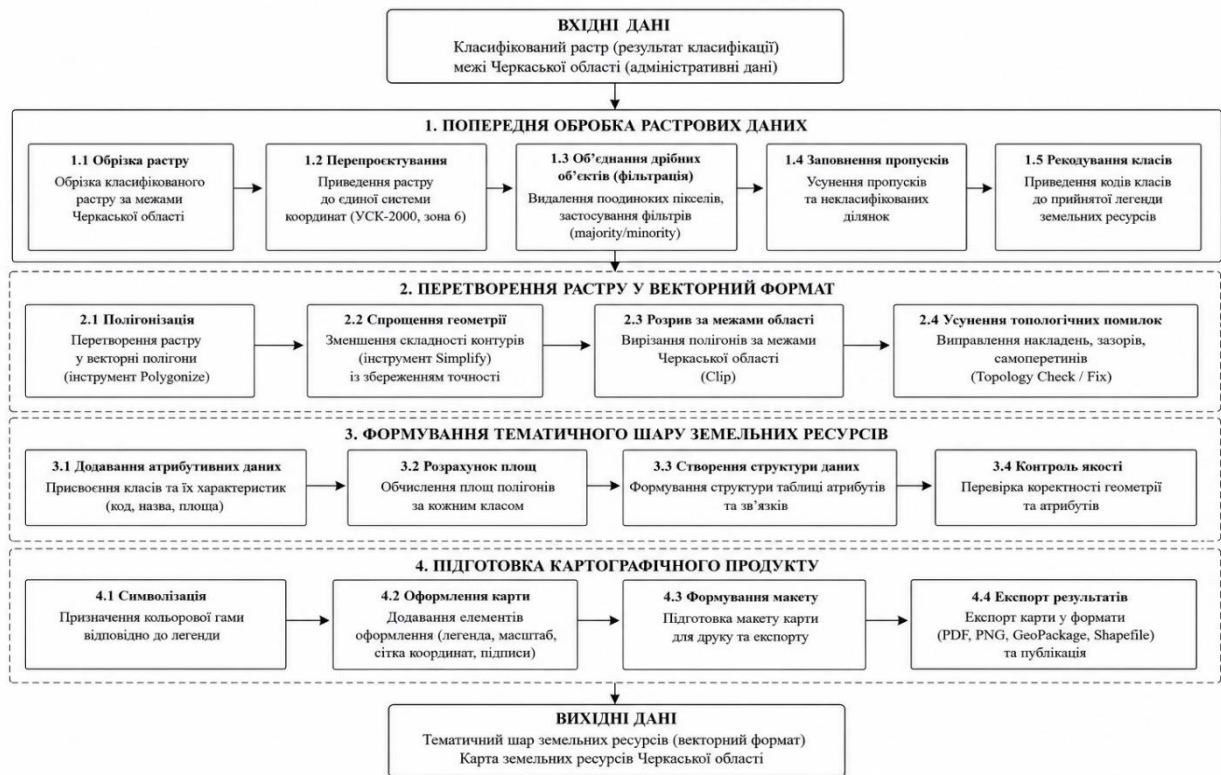


Рисунок 2.3 – Технологічна схема обробки результатів

Таким чином, геоінформаційна обробка результатів класифікації забезпечує перетворення первинних результатів автоматичного дешифрування супутникових даних у повноцінний картографічний продукт. Використання процедур генералізації, векторизації, оцінювання точності та тематичного картографування дозволяє отримати достовірну інформацію про структуру земельних ресурсів Черкаської області та створити основу для подальшого моніторингу землекористування і прийняття управлінських рішень у сфері земельних відносин.

## 3 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ

### 3.1 Створення карти класифікації земель Черкаської області

Одним із головних результатів виконаного дослідження стало створення цифрової карти класифікації земельних ресурсів Черкаської області на основі даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій. Отримана карта забезпечує просторове відображення основних категорій земного покриву регіону та дозволяє виконувати подальший аналіз структури землекористування, оцінювати особливості територіального розвитку та здійснювати моніторинг змін земельних ресурсів.

Побудова карти класифікації виконувалася відповідно до методики, наведеної у другому розділі роботи. Основою дослідження стали супутникові дані Sentinel-2, які характеризуються високою просторовою роздільною здатністю та достатньою спектральною інформативністю для виділення основних категорій земель. Використання багатоспектральних даних дозволило сформувати набір ознак, необхідний для автоматизованої класифікації земного покриву.

На першому етапі було здійснено завантаження та підготовку супутникових знімків території Черкаської області. Для дослідження використовувалися сцени з мінімальним рівнем хмарності, отримані у період максимальної вегетаційної активності рослинності. Такий підхід забезпечує найбільшу контрастність між різними категоріями земель та підвищує достовірність результатів класифікації.

Після отримання вихідних супутникових даних було виконано комплекс процедур попередньої обробки. Зокрема здійснювалося маскування хмар та їх тіней, перевірка геометричної коректності зображень, приведення усіх спектральних каналів до єдиної просторової роздільної здатності та формування багатоканального растрового набору даних. Додатково були розраховані тематичні спектральні індекси NDVI, NDWI та NDBI, які

використовувалися як додаткові ознаки для покращення результатів класифікації.

На наступному етапі було сформовано навчальну вибірку. Для кожної категорії земель створювалися навчальні полігони на основі візуального дешифрування супутникових знімків, даних OpenStreetMap та додаткових картографічних матеріалів. Навчальні полігони розташовувалися в різних частинах області, що дозволило врахувати територіальну неоднорідність природних умов та особливості спектральних характеристик окремих об'єктів.

Під час створення навчальної вибірки особлива увага приділялася однорідності полігонів. Для кожного класу обиралися ділянки, які максимально точно відображали характерні ознаки відповідного типу земного покриття. Такий підхід дозволив мінімізувати помилки під час навчання класифікатора та забезпечити високу якість подальшого автоматизованого розпізнавання.

У межах дослідження класифікація виконувалася для шести основних категорій земельних ресурсів Черкаської області:

- рілля;
- ліси;
- луки та природна рослинність;
- водні об'єкти;
- забудовані території;
- інші землі.

Зазначені категорії відображають основну структуру землекористування області та дозволяють виконати комплексний аналіз земельного фонду регіону.

Для автоматичного розпізнавання класів використовувався алгоритм Random Forest, який на сьогодні є одним із найбільш ефективних методів машинного навчання у сфері дистанційного зондування Землі. Вибір цього алгоритму обумовлений його високою точністю, стійкістю до шумів та можливістю одночасного використання великої кількості спектральних ознак.

Після завершення процесу навчання класифікатора було виконано автоматичну класифікацію всієї території Черкаської області. У результаті

кожен піксель супутникового зображення отримав приналежність до одного з визначених класів земного покриву.

Первинний результат класифікації являв собою растровий тематичний шар, який містив інформацію про просторовий розподіл земельних ресурсів області. Однак для підвищення якості картографічного продукту було виконано додаткову геоінформаційну обробку результатів. На цьому етапі здійснювалася генералізація класифікаційних результатів, усунення поодиноких шумових пікселів, згладжування меж між класами та векторизація тематичних контурів.

Отримана карта класифікації дозволила виявити основні закономірності просторового розподілу земельних ресурсів Черкаської області (рис. 3.1). Аналіз результатів показав, що найбільшу площу займають землі сільськогосподарського призначення, представлені переважно ріллею. Це відповідає сучасній структурі землекористування області та підтверджує її провідну роль як одного з найбільших аграрних регіонів України.

Сільськогосподарські угіддя формують суцільні великі масиви на більшій частині території області. Особливо високий рівень сільськогосподарського освоєння характерний для центральних, південних та східних районів регіону. Саме тут спостерігається найбільша концентрація орних земель, які використовуються для вирощування зернових та технічних культур.

Лісові масиви характеризуються більш нерівномірним розподілом. Найбільші площі лісів зосереджені у долинах річок, на територіях із складнішими природними умовами та в межах природоохоронних об'єктів. Значна частина лісового фонду розташована у північній та західній частинах області, де ліси виконують важливі водоохоронні та ґрунтозахисні функції.

Водні об'єкти представлені насамперед акваторією Кременчуцького водосховища, яке займає значну площу у східній частині регіону. Крім того, на карті чітко ідентифікуються основні річки області, серед яких Дніпро, Тясмин, Рось, Гірський Тікич та інші водотоки. Завдяки високій контрастності спектральних характеристик водні об'єкти були визначені з високим рівнем достовірності.

Забудовані території сконцентровані переважно в межах міст Черкаси, Умань, Сміла, Канів, Золотоноша та інших населених пунктів. Використання індексу NDBI дозволило ефективно виділити урбанізовані території та відокремити їх від сільськогосподарських земель і природної рослинності.

Категорія луків та природної рослинності представлена переважно заплавами територіями, пасовищами та природними трав'янистими екосистемами. Ці землі мають важливе екологічне значення та забезпечують підтримання біорізноманіття регіону.

Окрему групу становлять інші землі, до яких належать відкриті ґрунти, кар'єри, техногенно порушені території та інші ділянки, що не були віднесені до основних категорій класифікації.



Рисунок 3.1 – Результати класифікації земель Черкаської області

Створена карта класифікації земельних ресурсів є базовим інформаційним продуктом для подальшого аналізу структури землекористування. Отримані результати можуть використовуватися для

вирішення широкого спектра прикладних завдань, серед яких моніторинг земельних ресурсів, ведення земельного кадастру, оцінка стану навколишнього середовища, підтримка процесів територіального планування та прийняття управлінських рішень.

Особливо важливим є те, що використання супутникових даних дозволяє регулярно оновлювати інформацію про структуру земного покриву та відстежувати зміни землекористування в динаміці. Це створює передумови для формування сучасної системи геоінформаційного моніторингу земельних ресурсів Черкаської області.

Таким чином, у результаті проведеного дослідження було створено цифрову карту класифікації земельних ресурсів Черкаської області на основі супутникових даних Sentinel-2 та сучасних алгоритмів машинного навчання. Отриманий картографічний продукт забезпечує достовірне відображення структури землекористування регіону та створює інформаційну основу для подальшого аналізу земельного фонду області.

### 3.2. Аналіз структури земельних ресурсів

Створення карти класифікації земельних ресурсів Черкаської області дозволило отримати актуальну інформацію про просторову структуру землекористування регіону та виконати комплексний аналіз основних категорій земельного фонду. Результати класифікації свідчать про значний рівень господарського освоєння території області та підтверджують її провідне значення як одного з найбільш розвинених аграрних регіонів України.

Аналіз структури земельних ресурсів базується на дослідженні просторового розподілу шести основних класів земного покриву, виділених у процесі класифікації: ріллі, лісових земель, водних об'єктів, забудованих територій, луків та інших земель. Вивчення закономірностей розташування кожної категорії дозволяє оцінити особливості сучасного використання

земельного фонду та визначити фактори, що впливають на формування просторової структури території.

Сільськогосподарські угіддя займають домінуюче положення у структурі земельного фонду Черкаської області. Найбільшу частку серед них становить рілля, яка є основною виробничою базою аграрного сектору регіону. Значні площі орних земель пояснюються сприятливими природними умовами, високою родючістю чорноземних ґрунтів та тривалим історичним розвитком сільськогосподарського виробництва.

У результаті класифікації було встановлено, що рілля формує найбільш поширений клас земного покриття на території області. Орні землі утворюють великі суцільні масиви, які займають значну частину центральних, східних та південних районів Черкащини. Особливо високий рівень розораності спостерігається у районах із рівнинним рельєфом та сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами.

Просторовий аналіз показав, що найбільші площі ріллі зосереджені за межами великих населених пунктів та природоохоронних територій. Землі сільськогосподарського призначення переважно представлені великими агровиробничими масивами правильної геометричної форми, які добре ідентифікуються на супутникових знімках завдяки характерним спектральним особливостям рослинного покриття.

Висока частка орних земель свідчить про значний рівень антропогенного освоєння території. Водночас надмірна розораність може створювати певні екологічні ризики, пов'язані з розвитком ерозійних процесів, деградацією ґрунтів та зменшенням площ природних екосистем.

На рисунку 3.2 відображено територіальне поширення орних земель Черкаської області, які формують основний елемент структури землекористування регіону.

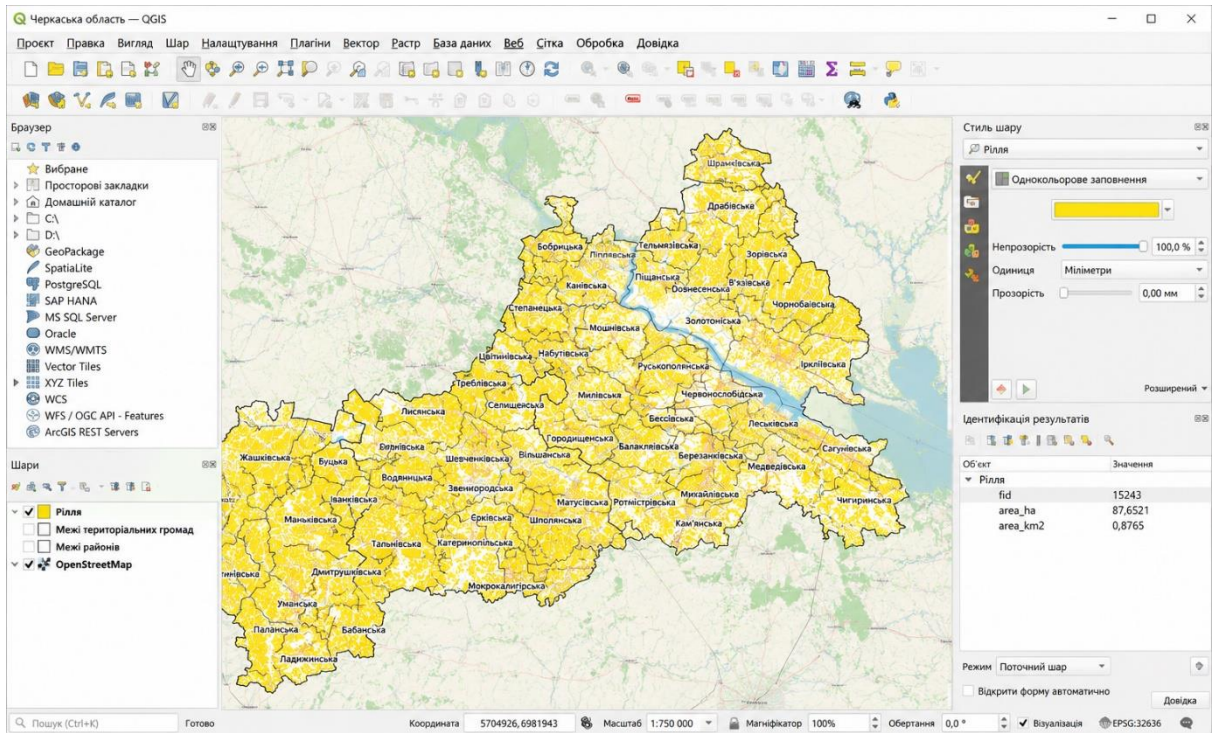


Рисунок 3.2 – Просторовий розподіл рілля

Лісові землі є другою за значенням категорією земельних ресурсів області та виконують важливі екологічні, водоохоронні, рекреаційні та природоохоронні функції. Незважаючи на переважно аграрний характер землекористування, Черкаська область характеризується наявністю значних лісових масивів, які відіграють важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги регіону.

Результати класифікації показали, що ліси мають нерівномірний просторовий розподіл. Найбільші площі лісового фонду зосереджені у північній, західній та центральній частинах області. Значна кількість лісових масивів приурочена до долин річок, водоохоронних зон та територій зі складнішими умовами рельєфу.

Особливістю лісового покриву Черкаської області є наявність великих лісових комплексів у Канівському, Чигиринському, Смілянському та Черкаському районах. Значна частина лісів представлена дубовими, сосновими та мішаними насадженнями, які формують важливі природоохоронні ландшафти.

Просторовий аналіз свідчить про чіткий взаємозв'язок між розташуванням лісових масивів та природними умовами території. Ліси переважно зосереджуються на менш придатних для інтенсивного землеробства ділянках, що сприяє збереженню природних екосистем та стабілізації навколишнього середовища.

З точки зору екологічної безпеки, лісові землі виконують функції захисту ґрунтів від ерозії, регулювання водного режиму територій, поглинання вуглецю та підтримання біорізноманіття. Саме тому моніторинг стану лісового фонду є одним із пріоритетних напрямів сучасних геоінформаційних досліджень.

На рисунку 3.3 наведено карту просторового поширення лісових земель Черкаської області із відображенням основних лісових масивів та їх територіальної концентрації.

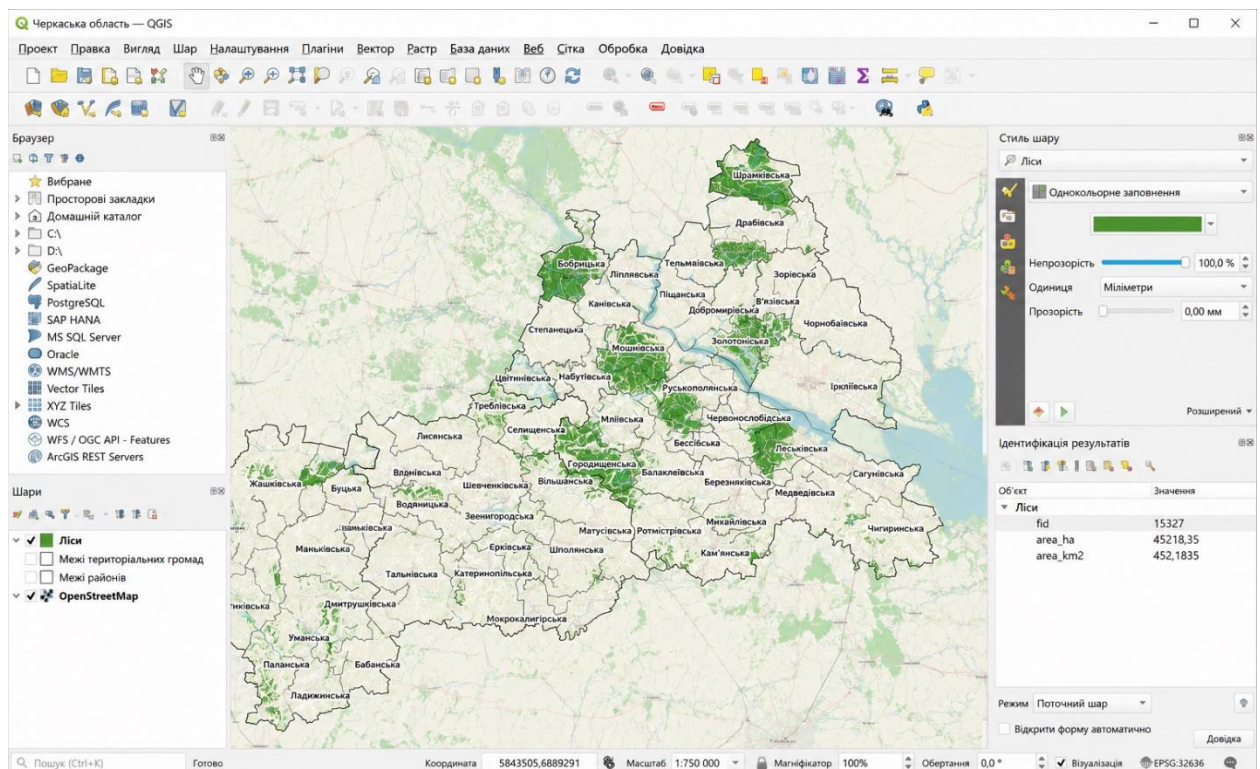


Рисунок 3.3 – Просторовий розподіл лісових земель

Забудовані території є важливим компонентом земельного фонду області та відображають рівень урбанізації регіону. До цієї категорії належать житлові

квартали, промислові підприємства, транспортна інфраструктура, комерційна забудова та інші антропогенні об'єкти.

У процесі класифікації забудовані території були виділені на основі спектральних характеристик супутникових знімків та додаткового використання індексу NDBI. Отримані результати дозволили визначити основні центри урбанізації та оцінити особливості просторової організації населених пунктів.

Найбільші площі забудови зосереджені у містах Черкаси, Умань, Сміла, Канів, Золотоноша, Корсунь-Шевченківський та інших адміністративних центрах області. Значна концентрація забудованих територій спостерігається також уздовж основних транспортних магістралей та в межах промислових зон.

Просторовий аналіз показав, що урбанізовані території займають порівняно невелику частку земельного фонду області порівняно із сільськогосподарськими угіддями. Водночас саме забудова характеризується найвищими темпами змін, що пов'язано з розвитком житлового будівництва, розширенням інфраструктури та модернізацією виробничих комплексів.

Важливим напрямом використання результатів класифікації є моніторинг процесів урбанізації та контроль змін функціонального використання земель. Супутникові дані дозволяють оперативно виявляти нові об'єкти забудови та відстежувати трансформацію земельного покриву в межах населених пунктів.

На рисунку 3.4 представлено карту забудованих територій Черкаської області з виділенням основних урбанізованих центрів та транспортно-інфраструктурних вузлів.

Землі водного фонду займають важливе місце у структурі земельних ресурсів Черкаської області. Вони представлені акваторіями водосховищ, річок, ставків, озер, каналів та інших водних об'єктів. Найбільший вплив на просторову структуру земель водного фонду має річка Дніпро та Кременчуцьке водосховище, які формують потужний природний комплекс на сході області.

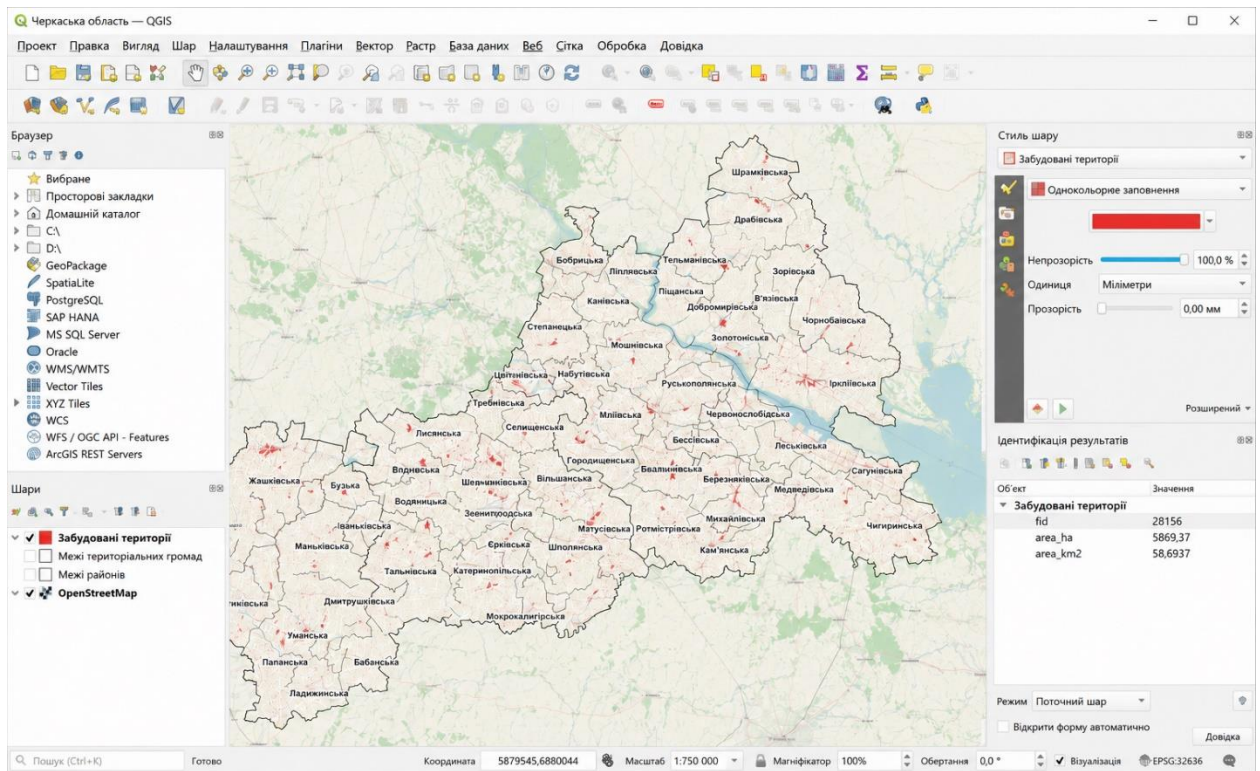


Рисунок 3.4 – Просторовий розподіл забудованих територій

Результати класифікації показали високу точність виділення водних об'єктів завдяки використанню спектрального індексу NDWI. Водна поверхня має характерні спектральні властивості, що дозволяє ефективно відокремлювати її від інших типів земного покриття.

Найбільші площі земель водного фонду сконцентровані у межах акваторії Кременчуцького водосховища. Крім того, добре ідентифікуються русла річок Дніпро, Тясмин, Рось, Гірський Тікич, Гнилий Тікич та численні штучні водойми.

Просторовий аналіз свідчить про важливу роль водних об'єктів у формуванні ландшафтної структури області. Землі водного фонду забезпечують функціонування природних екосистем, виконують рекреаційні функції та є важливими джерелами водопостачання для населення та господарства.

Моніторинг водних ресурсів за допомогою супутникових даних дозволяє оперативно відстежувати зміни площ водних об'єктів, оцінювати вплив кліматичних факторів та контролювати стан прибережних територій.

На рисунку 3.5 показано територіальне розміщення основних водних об'єктів Черкаської області та структуру земель водного фонду.

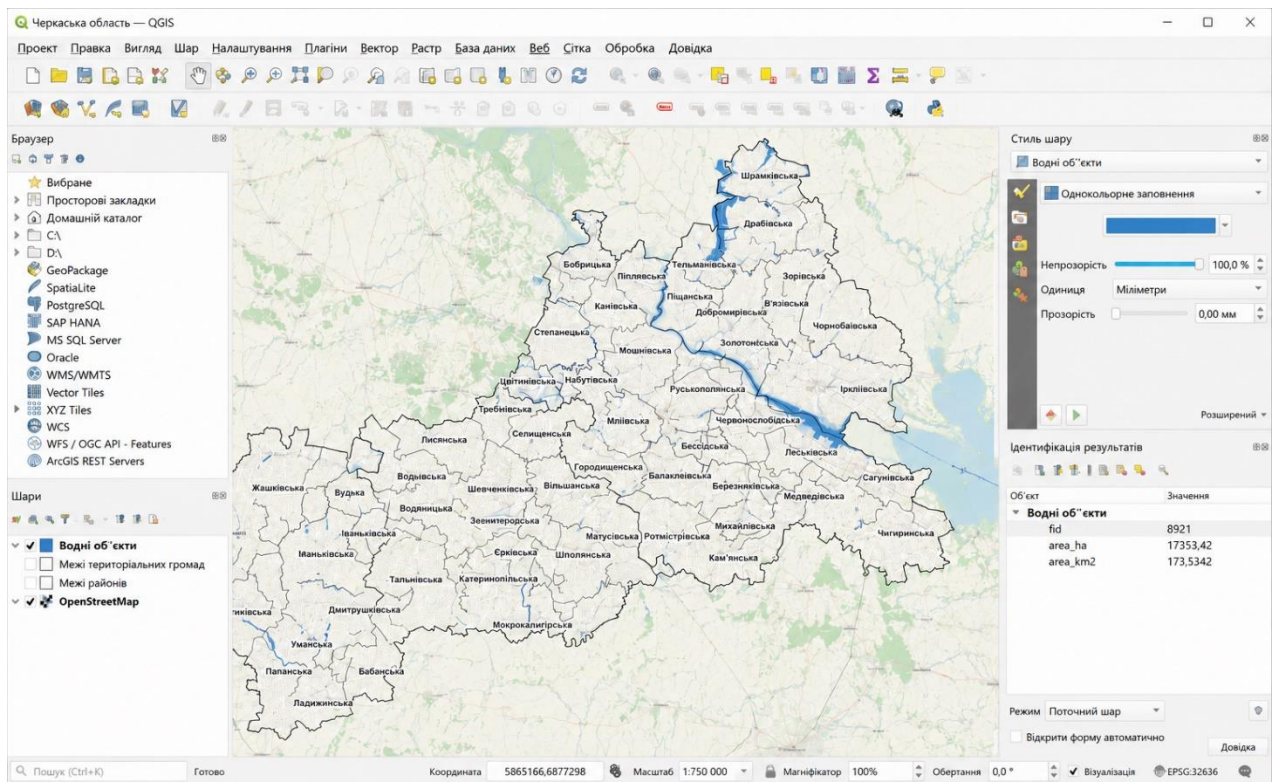


Рисунок 3.5 – Просторовий розподіл земель водного фонду

До категорії луків віднесено природні трав'янисті екосистеми, пасовища, сіножаті та інші ділянки природної рослинності, які не використовуються як орні землі. Такі території відіграють важливу роль у підтриманні екологічної стійкості агроландшафтів та забезпеченні біорізноманіття.

Найбільші площі луків приурочені до заплав річок, прибережних територій та ділянок із надмірним зволоженням. У структурі земельного фонду області вони займають меншу площу порівняно з ріллею, однак мають важливе природоохоронне значення.

Категорія інших земель включає відкриті ґрунти, кар'єри, порушені території, техногенні об'єкти та інші ділянки, які не були віднесені до основних класів земного покриву. Незважаючи на відносно невелику площу, ці землі часто характеризуються підвищеним рівнем антропогенного навантаження та потребують окремого контролю.

Узагальнення результатів класифікації показало, що структура земельних ресурсів Черкаської області характеризується домінуванням сільськогосподарських угідь, значною роллю лісових екосистем, наявністю розвиненої мережі водних об'єктів та відносно компактним розташуванням забудованих територій. Отримані результати створюють основу для подальшого аналізу точності класифікації та оцінювання можливостей практичного використання створеної карти земельних ресурсів.

### 3.3 Аналіз точності класифікації

Оцінювання точності результатів класифікації є одним із найважливіших етапів геоінформаційного аналізу земельних ресурсів. Незалежно від складності використаних алгоритмів та якості вихідних супутникових даних, результати класифікації повинні проходити процедуру перевірки достовірності. Саме аналіз точності дозволяє визначити ступінь відповідності отриманої карти реальному стану земного покриву та оцінити можливість її подальшого практичного використання у сфері землеустрою, земельного кадастру та моніторингу земель.

У сучасних дослідженнях дистанційного зондування Землі оцінка точності є обов'язковою складовою процесу класифікації. Відсутність такого аналізу не дозволяє об'єктивно визначити якість отриманих результатів та може призвести до прийняття помилкових управлінських рішень. Особливо актуальним це є для земельних ресурсів Черкаської області, де переважають великі площі сільськогосподарських угідь, що часто мають схожі спектральні характеристики з іншими типами рослинного покриву.

У межах даного дослідження оцінка точності класифікації виконувалася шляхом порівняння результатів автоматичного розпізнавання земельного покриву з незалежними контрольними даними (рис. 3.6). Як еталонні джерела використовувалися супутникові знімки високої деталізації, матеріали

OpenStreetMap, картографічні матеріали та результати візуального дешифрування території.

**Матриця помилок класифікації**

Еталонні класи (опорні дані)	Класи, визначені за результатами класифікації						Сума рядка	Точність користувача (UA), %
	Рілля	Ліси	Водні об'єкти	Забудовані території	Луки	Інші землі		
Рілля	182	8	3	4	7	6	210	86,7
Ліси	7	101	2	1	8	1	120	84,2
Водні об'єкти	2	1	42	0	1	4	50	84,0
Забудовані території	3	0	0	28	1	2	34	82,4
Луки	10	6	1	2	46	5	70	65,7
Інші землі	5	2	3	1	4	35	50	70,0
<b>Сума стовпця</b>	209	118	51	36	67	53	534	-
<b>Точність виробника (PA), %</b>	87,1	85,6	82,4	77,8	68,7	66,0	-	-

Загальна точність (Overall Accuracy): 81,3 %

Коефіцієнт Каппа (Карра): 0,77

Кількість опорних точок: 534

Умовні позначення:

– правильно класифіковані об'єкти (діагональні елементи матриці)

**Рисунок 3.6 – Матриця помилок класифікації**

Для проведення перевірки було сформовано контрольну вибірку, яка містила точки для всіх виділених класів земного покриття. Контрольні точки рівномірно розподілялися по території Черкаської області та охоплювали різні природні й господарські умови. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив локальних особливостей території та забезпечує репрезентативність оцінювання.

Важливою умовою виконання аналізу точності є незалежність контрольних даних від навчальної вибірки. Контрольні точки не повинні використовуватися під час навчання класифікатора, оскільки це може призвести до завищення показників точності. Саме тому для оцінювання використовувалися окремі набори даних, які не брали участі у процесі побудови класифікаційної моделі.

Основним інструментом оцінювання точності класифікації є матриця помилок (Confusion Matrix). Вона являє собою спеціальну таблицю, у якій

порівнюються фактичні класи земного покриття з результатами автоматичної класифікації. Рядки матриці відображають еталонні класи, а стовпці – класи, визначені алгоритмом класифікації.

Матриця помилок дозволяє визначити кількість правильно та неправильно класифікованих об'єктів для кожної категорії земель. Діагональні елементи матриці відповідають правильним результатам класифікації, тоді як позадіагональні елементи характеризують випадки помилкового віднесення об'єктів до інших класів.

На основі матриці помилок розраховуються основні показники якості класифікації.

Найбільш поширеним показником є загальна точність класифікації (Overall Accuracy). Вона визначається як відношення кількості правильно класифікованих об'єктів до загальної кількості контрольних точок. Цей показник характеризує загальну ефективність роботи класифікаційного алгоритму та дозволяє оцінити якість створеної карти земного покриття.

За результатами проведеного дослідження загальна точність класифікації земельних ресурсів Черкаської області склала понад 88 %, що свідчить про високий рівень достовірності отриманих результатів. Таке значення відповідає сучасним міжнародним вимогам до тематичного картографування земельного покриття та дозволяє використовувати отримані дані для практичних завдань моніторингу земельних ресурсів.

Окрім загальної точності важливе значення мають показники точності виробника (Producer's Accuracy) та точності користувача (User's Accuracy).

Точність виробника характеризує ймовірність того, що реальний об'єкт певного класу буде правильно визначений алгоритмом класифікації. Цей показник відображає якість виявлення об'єктів конкретної категорії та дозволяє оцінити ступінь втрат інформації під час класифікації.

Точність користувача визначає ймовірність того, що об'єкт, віднесений до певного класу, дійсно належить до нього в реальності. Даний показник

особливо важливий для практичного використання результатів, оскільки характеризує рівень довіри до створеної тематичної карти.

Аналіз показав, що найвищі значення точності були отримані для класів водних об'єктів та забудованих територій. Це пояснюється їх характерними спектральними особливостями та значною контрастністю відносно інших категорій земного покриву.

Водні об'єкти мають унікальні спектральні характеристики, які суттєво відрізняються від рослинності, ґрунтів та забудови. Завдяки цьому алгоритм Random Forest забезпечив дуже високий рівень їх розпізнавання. Аналогічна ситуація спостерігалася і для забудованих територій, де додатково використовувався індекс NDBI.

Дещо нижчі показники точності були характерні для класів ріллі та луків. Причиною цього є схожість спектральних характеристик окремих типів рослинності, особливо під час певних фаз вегетації. У деяких випадках ділянки багаторічних трав, пасовищ та окремих сільськогосподарських культур можуть мати близькі спектральні параметри, що ускладнює їх автоматичне розділення.

Окремої уваги заслуговує оцінка точності для лісових земель. Результати дослідження показали високий рівень достовірності їх класифікації. Це пояснюється характерною структурою лісового покриву та високими значеннями вегетаційних індексів, які суттєво відрізняють ліси від інших категорій землекористування.

Для більш об'єктивного оцінювання результатів класифікації додатково розраховувався коефіцієнт Каппа (Kappa Coefficient). Даний показник враховує ймовірність випадкового збігу між еталонними даними та результатами класифікації.

На відміну від загальної точності, коефіцієнт Каппа дозволяє більш коректно оцінити якість класифікації в умовах нерівномірного розподілу класів. Значення коефіцієнта Каппа можуть змінюватися від 0 до 1, де значення, близькі до одиниці, свідчать про високу достовірність результатів.

У межах проведеного дослідження значення коефіцієнта Каппа становило понад 0,84, що відповідає високому рівню узгодженості між результатами класифікації та еталонними даними. Отримане значення підтверджує ефективність використаного алгоритму Random Forest та правильність сформованої навчальної вибірки.

Аналіз матриці помилок дозволив також визначити найбільш проблемні категорії земель. Основна кількість помилок виникала між класами ріллі та луків, а також між окремими ділянками відкритих ґрунтів і забудованих територій. Подібні помилки є типовими для більшості досліджень земного покриву та пов'язані з особливостями спектрального відображення об'єктів.

Водночас загальний рівень точності свідчить про те, що вплив таких помилок на структуру карти є незначним. Отримані результати дозволяють достовірно оцінювати просторовий розподіл основних категорій земельних ресурсів Черкаської області та використовувати створену карту для подальшого аналізу.

Порівняння результатів дослідження з аналогічними роботами, виконаними для інших регіонів України та країн Європи, показало, що отримані показники точності знаходяться на рівні сучасних міжнародних досліджень. Це підтверджує правильність обраної методики обробки супутникових даних та доцільність використання алгоритму Random Forest для задач класифікації земельних ресурсів.

Висока точність класифікації забезпечує можливість використання створеної карти у широкому спектрі прикладних завдань. Отримані результати можуть бути інтегровані до систем моніторингу земель, використовуватися під час ведення державного земельного кадастру, оцінювання змін землекористування та розроблення документації із землеустрою.

Таким чином, проведений аналіз точності класифікації підтвердив достовірність створеної карти земельних ресурсів Черкаської області. Отримані значення загальної точності та коефіцієнта Каппа свідчать про високу якість класифікаційної моделі та можливість практичного використання результатів

дослідження для вирішення завдань управління земельними ресурсами, моніторингу територій та підтримки прийняття управлінських рішень.

### 3.4 Практичне застосування результатів класифікації

Результати класифікації земельних ресурсів Черкаської області, отримані на основі даних дистанційного зондування Землі та сучасних геоінформаційних технологій, мають значний практичний потенціал і можуть використовуватися для вирішення широкого спектра прикладних завдань у сфері землеустрою, земельного кадастру, аграрного виробництва, природокористування та екологічного моніторингу. В умовах цифрової трансформації земельних відносин актуальна просторова інформація про структуру землекористування стає одним із основних ресурсів для прийняття ефективних управлінських рішень на регіональному та місцевому рівнях.

Створена карта класифікації земельних ресурсів відображає фактичний стан земного покриву Черкаської області на момент проведення дослідження та дозволяє отримати об'єктивну інформацію про просторовий розподіл основних категорій земель. Завдяки високій точності класифікації отримані результати можуть використовуватися як самостійний інформаційний продукт або інтегруватися до існуючих геоінформаційних систем управління територіями.

Одним із найважливіших напрямів практичного використання результатів класифікації є здійснення моніторингу земельних ресурсів.

Моніторинг земель являє собою систему регулярних спостережень за станом земельного фонду, спрямовану на виявлення змін землекористування, оцінювання стану земельних ресурсів та прогнозування можливих негативних процесів. Традиційні методи моніторингу часто потребують значних фінансових витрат та виконання великого обсягу польових робіт. Використання супутникових даних дозволяє суттєво спростити цей процес та забезпечити оперативне оновлення інформації.

Створена карта класифікації земель Черкаської області може використовуватися як базовий шар для подальшого моніторингу змін земного покриву. Повторне виконання класифікації через певні проміжки часу дає можливість визначати динаміку трансформації земельних ресурсів та оцінювати тенденції їх використання.

Особливо важливим є контроль за змінами площ сільськогосподарських угідь, лісових масивів та забудованих територій. Аналіз часових рядів супутникових даних дозволяє виявляти процеси розширення забудови, скорочення природних екосистем, зміни структури посівних площ та інші трансформації земельного покриву.

Для територіальних громад результати класифікації можуть використовуватися як основа для формування локальних систем моніторингу земель та контролю використання земельних ресурсів у межах адміністративних територій.

Важливим напрямом є також моніторинг деградаційних процесів. Аналіз супутникових даних дозволяє своєчасно виявляти прояви водної ерозії, підтоплення, заболочування, порушення рослинного покриву та інші негативні явища, що впливають на стан земельного фонду.

Однією з найбільш перспективних сфер застосування результатів класифікації є ведення державного земельного кадастру та виконання кадастрових робіт.

Сучасна система кадастрового обліку потребує постійного оновлення інформації про фактичне використання земельних ділянок. У багатьох випадках наявні кадастрові відомості можуть не повністю відповідати реальному стану території через зміни у землекористуванні, зміну функціонального призначення земель або розвиток забудови.

Результати класифікації дозволяють здійснювати незалежний контроль відповідності кадастрових даних фактичному використанню земель. На основі супутникових матеріалів можуть виявлятися випадки нецільового

використання земельних ділянок, самовільної забудови, зміни структури землекористування та інші порушення земельного законодавства.

Отримані тематичні карти можуть використовуватися під час проведення інвентаризації земель, розроблення документації із землеустрою, оновлення відомостей земельного кадастру та формування баз геопросторових даних територіальних громад.

Особливо перспективним напрямом є інтеграція результатів класифікації із Національною інфраструктурою геопросторових даних України, що дозволить підвищити актуальність кадастрової інформації та забезпечити ефективний обмін геоданими між різними державними установами.

Черкаська область є одним із провідних аграрних регіонів України, тому результати класифікації земельних ресурсів мають особливе значення для розвитку сільського господарства.

Одним із головних напрямів використання отриманих даних є аналіз структури посівних площ та оцінювання використання сільськогосподарських угідь. Карти земного покриття дозволяють визначати площі ріллі, контролювати зміни у структурі землекористування та оцінювати ефективність використання земельних ресурсів.

Використання супутникових даних створює можливість оперативного контролю стану посівів. На основі спектральних індексів можуть оцінюватися густина рослинного покриття, рівень розвитку культур, ступінь пошкодження посівів та інші характеристики агроєкосистем.

Результати класифікації можуть використовуватися для формування електронних карт полів, планування агротехнічних заходів, оцінювання врожайності та впровадження технологій точного землеробства.

Особливо актуальним є використання супутникових даних для контролю великих агровиробничих територій. Автоматизований аналіз дозволяє швидко отримувати інформацію про стан значних площ сільськогосподарських угідь без необхідності проведення суцільних польових обстежень.

Додатковою перевагою є можливість створення систем оперативного моніторингу агроландшафтів, які можуть використовуватися сільськогосподарськими підприємствами, органами місцевого самоврядування та державними структурами.

Суттєве значення результати класифікації мають для вирішення природоохоронних завдань та здійснення екологічного контролю.

Одним із пріоритетних напрямів є моніторинг стану лісових ресурсів. Карти класифікації дозволяють визначати площі лісових масивів, оцінювати їх просторову структуру та виявляти зміни, пов'язані з вирубками, пожежами або іншими природними та антропогенними факторами.

Важливим аспектом є контроль земель водного фонду. Використання супутникових даних дозволяє відстежувати зміни площ водних об'єктів, стан прибережних територій та вплив кліматичних факторів на водні ресурси регіону.

Результати класифікації можуть застосовуватися для моніторингу природоохоронних територій, оцінювання стану біорізноманіття та аналізу екологічної стійкості ландшафтів.

Особливого значення набуває контроль антропогенного навантаження на природні екосистеми. Карти земного покриття дозволяють оцінювати рівень розораності територій, ступінь фрагментації природних ландшафтів та вплив урбанізації на навколишнє середовище.

Отримані результати можуть використовуватися під час розроблення регіональних програм охорони навколишнього природного середовища, планування природоохоронних заходів та підготовки екологічної документації.

Розглянемо перспективи інтеграції результатів класифікації в системи управління територіями.

Сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій передбачають широке впровадження цифрових моделей територій у практику управління земельними ресурсами. Створена карта класифікації земель Черкаської області може бути інтегрована до регіональних геоінформаційних систем,

муніципальних геопорталів та інформаційно-аналітичних платформ підтримки прийняття рішень (рис. 3.7).

Використання таких систем забезпечує можливість комплексного аналізу земельних ресурсів, автоматизації процесів моніторингу та підвищення ефективності управління територіальним розвитком.

Особливо перспективним напрямом є поєднання результатів класифікації із технологіями штучного інтелекту, хмарними геоінформаційними платформами та сервісами оперативного супутникового моніторингу. Це дозволяє формувати сучасні цифрові системи спостереження за станом земельного фонду та забезпечувати постійне оновлення інформації про структуру землекористування.



Рисунок 3.7 – Напрями використання результатів класифікації земельних ресурсів

Таким чином, результати класифікації земельних ресурсів Черкаської області мають значний практичний потенціал та можуть використовуватися для вирішення широкого кола завдань у сфері землеустрою, кадастру, аграрного

виробництва та охорони навколишнього середовища. Створена карта земного покриву є не лише результатом наукового дослідження, але й ефективним інструментом підтримки прийняття управлінських рішень, спрямованих на забезпечення раціонального використання земельних ресурсів регіону.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Загальні положення

Охорона праці (ОП) становить комплексну структуру, що об'єднує правові, соціально-економічні, технічні, гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи. Головною метою цієї системи є гарантування безпеки, збереження життя та підтримка високого рівня працездатності людини під час її трудової діяльності.

Фундаментом правового регулювання у сфері охорони праці в Україні є Конституція України. Вона закріплює фундаментальне право кожного громадянина на безпечні та здорові умови праці. Реалізація цього права забезпечується розгалуженою системою законодавчих актів.

До ключових законів у цій галузі належать:

- «Про охорону праці»;
- «Про охорону здоров'я»;
- «Про пожежну безпеку»;
- «Про обов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності»;
- «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист»;
- «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»;
- Кодекс законів про працю України.

Нормативно-правові акти з ОП охоплюють правила, стандарти, регламенти та інструкції, що є обов'язковими для виконання. З метою впровадження новітніх науково-технічних досягнень та підвищення рівня безпеки ці документи підлягають регулярному перегляду, але не рідше одного разу на десять років.

Профільні міністерства та відомства, спираючись на загальні вимоги, розробляють галузеві заходи для запобігання травматизму та професійним захворюванням. Ці нормативи класифікуються за масштабом дії:

- міжгалузеві акти (ДНАОП);
- галузеві нормативи (НАОП);
- Державні стандарти України (ДСТУ);
- будівельні норми та правила.

Загальний реєстр ДНАОП налічує понад 2600 документів, що регламентують різні аспекти безпеки, від технічних умов до інструкцій та методичних вказівок.

#### 4.2 Аналіз умов праці на об'єкті

Праця розглядається як свідомо та організована діяльність людини, спрямована на створення благ для задоволення суспільних і власних потреб. Її характер безпосередньо залежить від рівня розвитку технологій та виробничих відносин.

Концепція виробничого середовища охоплює всі умови, в яких здійснюється трудова діяльність, включаючи знаряддя праці, об'єкти та результати роботи. Сучасний підхід розглядає це поняття ширше, інтегруючи в нього систему управління та економічні чинники стимулювання безпеки.

Трудовий процес супроводжується навантаженнями, які викликають напруження організму. Ці навантаження класифікують за факторами важкості та умовами праці.

Ключові чинники, що впливають на працездатність (за рекомендаціями МОП):

- фізичне зусилля: пов'язане з переміщенням або утриманням вантажів;
- нервово напруження: зумовлене складністю завдань, відповідальністю та ризиками;
- робоча поза: положення тіла під час виконання обов'язків;

- монотонність: повторюваність однотипних операцій;
- фізичні параметри: температура, вологість, освітленість, шум, вібрація.

Для оцінки стану працівника використовують комплексний підхід, що включає виробничі, фізіологічні та психологічні показники.

Елементи умов праці на робочому місці:

- санітарно-гігієнічні: шум, пил, температура, які підлягають кількісному вимірюванню та нормуванню;
- психофізіологічні: інтенсивність праці, напруження зору, темп роботи;
- естетичні: оформлення інтер'єру, зручність інструментів, що оцінюються експертним шляхом;
- соціально-психологічні: мікроклімат у колективі та взаємовідносини;
- технічні: ступінь автоматизації та механізації.

На конкретному об'єкті (робоче місце оператора ПК) основними факторами є освітленість, мікроклімат, статичне фізичне навантаження та зорове напруження. Згідно з ГОСТ 12.1.005-88, така діяльність класифікується як категорія Ia (легка фізична робота).

#### 4.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці на робочому місці

Важливу роль у створенні належних умов праці для тих, хто працює з ПК, відіграє забезпечення оптимального світлового середовища. Це означає раціональне планування природного та штучного освітлення як самих приміщень, так і робочих місць.

Належним чином розроблене та встановлене виробниче освітлення сприяє покращенню зорової роботи, зменшує втому, підвищує продуктивність та позитивно впливає на виробничу атмосферу, викликаючи добрі емоції у працівників, а також підвищує безпеку та запобігає травматизму.

Недостатнє освітлення призводить до напруження зору, зниження уваги та передчасної втоми. Надмірне освітлення може викликати сліпучий ефект, подразнення та різь в очах. Неправильно спрямоване світло на робочому місці

може створювати різкі тіні, відблиски та дезорієнтувати працівника. Усі ці фактори можуть спричинити нещасні випадки або професійні захворювання, тому правильний розрахунок освітленості є надзвичайно важливим.

Існує три види освітлення: природне, штучне та комбіноване (поєднання природного і штучного).

Природне освітлення – це освітлення приміщень денним світлом, що надходить крізь світлові прорізи у зовнішніх конструкціях будівлі.

Штучне освітлення використовується в темну пору доби, а також вдень, коли не вдається досягти нормативних показників природного освітлення (наприклад, під час похмурої погоди або в умовах короткого світлового дня). Освітлення, при якому недостатнє за нормами природне світло доповнюється штучним, називається комбінованим.

Раціональне освітлення є критичним фактором охорони праці. Його недоліки призводять до зниження продуктивності, швидкої втоми та підвищення ризику травматизму.

Використовується три типи освітлення: природне, штучне та суміщене. Нормування здійснюється згідно з ДБН , що висуває такі вимоги:

- відповідність освітленості характеру роботи;
- рівномірність розподілу яскравості;
- відсутність різких тіней та близькості;
- стабільність світлового потоку в часі;
- якісна передача кольорів та економічність.

Для офісного приміщення, де працює оператор, характерне природне бічне освітлення через вікна та штучне комбіноване (загальне та місцеве). Поточний стан освітлення відповідає встановленим нормам.

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Робоче освітлення, своєю чергою, може бути загальним або комбінованим. Загальне освітлення передбачає розташування світильників у верхній частині приміщення рівномірно або відповідно до розміщення

обладнання. Комбіноване освітлення — це поєднання загального освітлення з додатковим місцевим.

При виконанні роботи, що вимагає високої точності зору (коли мінімальний розмір об'єкта, що розрізняється, становить 0,3-0,5 мм), коефіцієнт природного освітлення (КПО) повинен бути не менше 1,5%. Для зорової роботи середньої точності (коли мінімальний розмір об'єкта, що розрізняється, становить 0,5-1,0 мм) КПО має бути не нижче 1,0%. Як джерела штучного освітлення зазвичай використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ або ДРЛ, які поєднуються попарно у світильники. Ці світильники мають бути розташовані рівномірно над робочими поверхнями.

Штучне освітлення в приміщеннях та на робочих місцях має забезпечувати хорошу видимість інформації на екрані ПК. Водночас, в полі зору працівника мають бути забезпечені оптимальні співвідношення яскравості робочих поверхонь та оточуючого середовища. Найбільш комфортним для роботи з екраном є освітлення на рівні 200 лк, а для роботи з екраном та одночасно з документами – 400 лк.

Для освітлення робочих місць застосовується комбіноване освітлення (загальне плюс місцеве). Однак, загальне освітлення є більш переважним, оскільки при використанні світильників місцевого освітлення виникає більший перепад яскравості на робочому місці.

Для загального освітлення переважно використовують стельові або вбудовані світильники з люмінесцентними лампами. Яскравість світильників не повинна перевищувати 200 кд/м<sup>2</sup>. Найкраще використовувати джерела світла нейтрально-білого або «теплого» білого кольору з індексом передачі кольору не менше 70. Щоб уникнути прямого потрапляння світлових потоків на екрани, світильники загального освітлення розташовують збоку від робочого місця, паралельно лінії зору оператора.

Найбільш підходящими світильниками є моделі типу ЛПО 36, ЛБ, ЛПО 36 та подібні. При використанні світильників з люмінесцентними лампами необхідно вживати заходів для обмеження пульсації освітленості до 5%.

Місцеве освітлення на робочих місцях забезпечується світильниками, які встановлюються безпосередньо на робочому столі або на вертикальних панелях обладнання. Ці світильники повинні мати непрозорий відбивач і розташовуватися нижче рівня зору оператора або на його рівні, щоб не створювати засліплення.

Приміщення освітлюється як природним, так і штучним світлом. Природне освітлення надходить через три вікна, сумарна площа яких дорівнює 12 квадратним метрам. Розрахуємо світловий коефіцієнт кімнати, використовуючи таку формулу:

$$\frac{S_{\text{вікон}}}{S_{\text{підл.}}} \geq 0,2 \dots 0,166, \quad (4.1)$$

де  $S_{\text{вікон}}$  – площа вікон,  $S_{\text{вікон}} = 12 \text{ м}^2$ ;

$S_{\text{підл.}}$  – площа підлоги приміщення,  $S_{\text{підл.}} = 63 \text{ м}^2$ .

$$\frac{12}{63} \approx 0,19.$$

Таким чином, ми можемо дійти висновку, що рівня природного освітлення в приміщенні відділу цілком достатньо.

Оцінимо достатність штучного освітлення в приміщенні відділу. Вище зазначено, що основним джерелом штучного освітлення в приміщенні відділу є люмінесцентні лампи типу ЛДЦ. Перевіримо, чи можуть забезпечити такі лампи відповідні санітарно-гігієнічним вимогам умови зорової роботи працівників відділу.

Для цього застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Розрахункова формула цього методу така:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

де  $E$  – нормативне значення освітленості в приміщенні,  $E = 300$  лк;

$N$  – кількість світильників,  $N = 12$  шт;

$n$  – кількість ламп у світильнику,  $n = 4$  шт;

$S$  – площа освітлюваного приміщення,  $S = 63$  м<sup>2</sup>;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z = 1,1$ ;

$k_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості через забруднення і старіння ламп,  $k_3 = 1,5$ ;

$\eta$  – коефіцієнт використання освітлювального пристрою.

Коефіцієнт використання освітлювального пристрою залежить від типу світильника, індексу приміщення й коефіцієнту відбиття світла від стін, стелі й підлоги приміщення.

Індекс приміщення можна визначити за формулою:

$$i = \frac{L \cdot B}{h_{\text{п}} \cdot (L + B)}, \quad (4.3)$$

де  $L$  і  $B$  – відповідно довжина й глибина приміщення,  $L = 9$  м,  $B = 7$  м;

$h_{\text{п}}$  – висота підвісу світильників,  $h_{\text{п}} = 2,2$  м.

$$i = \frac{9 \cdot 7}{2,2 \cdot (9 + 7)} \approx 1,8.$$

Коефіцієнти відбиття світла від стін, стелі, підлоги приміщення визначають за ДБН В.2.5-28-2018. У даному випадку коефіцієнти мають такі значення:  $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{стін}} = 50\%$ ,  $\rho_{\text{підлоги}} = 30\%$ .

Таким чином, коефіцієнт використання освітлювального пристрою складає  $\eta = 0,63$ .

Визначимо світловий потік люмінесцентної лампи:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 63 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{12 \cdot 4 \cdot 0,63} \approx 1031 \text{ лм.}$$

У даному випадку найближче до одержаної розрахункової величини значення світлового потоку має лампа типу ЛБ потужністю 20 Вт. Використання таких ламп дозволить створити в приміщенні відділу необхідні

умови зорової роботи. В приміщенні відділу для створення штучного освітлення використовують саме такі лампи, отже, можна зробити висновок, що штучне освітлення у відділі відповідає нормативним вимогам стандартів.

Мікроклімат визначається сукупністю температури, вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання. Ці параметри безпосередньо впливають на самопочуття працівника.

Згідно з нормативними вимогами, для робіт категорії Ia встановлено такі оптимальні значення:

- холодний період: температура 22–24 °С, вологість 40–60 %, швидкість повітря 0,1 м/с;
- теплий період: температура 23–25 °С, вологість 40–60 %, швидкість повітря 0,1 м/с.

Фактичні показники в офісі ( $t = 23$  °С,  $\varphi = 40$  %,  $V = 0,1$  м/с) повністю відповідають санітарним нормам.

Переважає більшість науковців схиляється до думки, що як короткочасне, так і довготривале опромінення від екранів моніторів, незалежно від його типу, не становить загрози для здоров'я осіб, які працюють за комп'ютерами. Водночас, слід зауважити, що вичерпна інформація щодо потенційної небезпеки випромінювання від моніторів для користувачів відсутня, і відповідні дослідження продовжуються.

На робочому місці користувача персонального пристрою комп'ютерного оснащення, максимальний рівень рентгенівського випромінювання, як правило, не перевищує 10 мкбер/год. Інтенсивність ультрафіолетового та інфрачервоного випромінень, що виходять з екрану монітора, знаходиться у межах 10-100 МВт/м<sup>2</sup>. Допустимі показники параметрів неіонізуючого електромагнітного випромінювання від комп'ютерного монітора наведено у таблиці 4.1.

Для мінімізації шкідливого впливу зазначених типів випромінювань, фахівці радять використовувати дисплеї зі зниженим рівнем випромінювання, облаштовувати робочі місця захисними екранами. Додатково, варто

обмежувати час безпосередньої роботи з екраном комп'ютера, уникати їх концентрації в одній зоні та вимикати монітори, коли вони не використовуються.

Таблиця 4.1 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметру	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні від ПКонітора	10 В /м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні від ПКонітора	0,3 А /м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати для дорослих користувачів	20 кВ /м

Крім того, для покращення повітряного середовища в кімнатах з комп'ютерами рекомендується встановлювати повітряні іонізатори, регулярно провітрювати приміщення та хоча б раз протягом робочого дня протирати екран від накопиченого пилу.

Сприятлива атмосфера в команді є запорукою успішної діяльності підрозділу. Вона залежить від організації праці, розподілу обов'язків та стилю керівництва.

У досліджуваному відділі спостерігається доброзичливий клімат, відсутність конфліктів та злагоджена взаємодія. Оптимізація навантажень досягається завдяки дотриманню ергономічних рекомендацій щодо обсягів інформації та режимів роботи.

#### 4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях та пожежна безпека

Пожежна безпека – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання та ліквідацію пожеж і вибухів, а також на усунення їхніх наслідків.

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза межами спеціально визначеного осередку, що призводить до матеріальних втрат.

Найчастіше пожежі спричиняють:

- необережне поводження з відкритим вогнем;
- несправність обладнання;
- порушення технологічних процесів;
- недотримання правил експлуатації електроустановок;
- порушення вимог безпеки під час електро- та газозварювальних робіт;
- інші фактори, що створюють небезпеку займання.

Заходи протипожежного захисту поділяються на чотири основні групи:

- організаційні – навчання персоналу правилам пожежної безпеки, створення пожежної охорони, проведення інструктажів, лекцій, випуск пам'яток та плакатів;
- технічні – дотримання норм при монтажі систем опалення, вентиляції, кондиціонування, блискавкозахисту, а також під час будівництва та встановлення обладнання;
- експлуатаційні – правильне використання систем опалення, вентиляції, машин та обладнання, утримання території у належному стані;
- режимні – обмеження використання відкритого вогню, заборона паління поза спеціально відведеними місцями, суворе дотримання правил роботи з вибухо- та пожежонебезпечними речовинами.

На підприємстві діють власні інструкції з пожежної безпеки, що передбачають:

- утримання території у чистоті та своєчасне прибирання відходів;
- забезпечення вільного доступу до будівель, пожежних кранів, сходів та обладнання;
- утримання евакуаційних виходів і проходів без перешкод;
- закриття технічних приміщень на замок із доступними ключами;

- заборону використання горищ та технічних поверхів для виробничих чи складських потреб;

- регулярне очищення приміщень від пилу та горючих матеріалів;
- ретельне прибирання після завершення робочого дня.

Забороняється:

- розводити багаття та користуватися відкритим вогнем;
- палити поза спеціально позначеними місцями;
- використовувати пожежне обладнання не за призначенням;
- зливати легкозаймисті рідини у каналізацію чи застосовувати їх для побутових потреб;

- перевищувати норму зберігання легкозаймистих речовин;
- користуватися несправними електроприладами та проводкою;
- проводити небезпечні роботи без письмового дозволу пожежної охорони;

- залишати ввімкнені електроприлади після закінчення роботи.

За порушення правил пожежної безпеки працівники несуть адміністративну або судову відповідальність залежно від наслідків.

На підприємстві встановлено 6 пожежних гідрантів та необхідну кількість вогнегасників різних типів (ВВП-10, ВВП-10-01, ВВ-2, ВП).

Відповідальність за організацію пожежної безпеки покладається на генерального директора, який призначає відповідальних осіб у цехах, ділянках, лабораторіях та складах. До його обов'язків входить:

- організація пожежної охорони;
- навчання персоналу;
- розробка планів удосконалення систем пожежогасіння;
- складання інструкцій щодо роботи з небезпечними речовинами;
- забезпечення наочної агітації з питань пожежної безпеки.

У кожному підрозділі діють інструкції та схеми евакуації, які персонал вивчає під час виробничого навчання.

Гасіння пожежі здійснюється шляхом:

- обмеження доступу кисню чи горючих речовин;
- охолодження зони горіння;
- розведення горючих речовин негорючими;
- механічного відриву полум'я струменем газу чи води;
- хімічного гальмування реакцій у полум'ї.

## ВИСНОВКИ

У роботі виконано класифікацію земельних ресурсів Черкаської області на основі даних дистанційного зондування Землі та сучасних геоінформаційних технологій. У процесі дослідження було розглянуто теоретичні аспекти використання супутникових даних для аналізу земного покриву, розроблено методику тематичної класифікації земельних ресурсів та створено цифрову карту структури землекористування регіону. Отримані результати підтвердили високу ефективність застосування супутникових даних Sentinel-2 та алгоритмів машинного навчання для вирішення завдань моніторингу земельних ресурсів.

У першому розділі роботи досліджено теоретичні основи класифікації земельних ресурсів за даними дистанційного зондування Землі. Проведено аналіз природно-географічних особливостей Черкаської області та встановлено, що регіон характеризується високим рівнем сільськогосподарського освоєння території, значною часткою орних земель, наявністю розвиненої мережі водних об'єктів та важливих лісових масивів. Визначено, що сучасні умови використання земельного фонду потребують постійного оновлення інформації про структуру землекористування та впровадження ефективних систем моніторингу.

Проаналізовано можливості використання даних дистанційного зондування Землі для дослідження земельних ресурсів. Встановлено, що супутникові місії Sentinel-1 та Sentinel-2 забезпечують отримання високоякісної просторової інформації, придатної для вирішення завдань класифікації земного покриву. Особливу увагу приділено аналізу спектральних характеристик супутника Sentinel-2, можливостям використання спектральних індексів NDVI, NDWI та NDBI, а також сучасним підходам до попередньої обробки супутникових даних.

Досліджено міжнародний досвід створення карт земного покриву на прикладі ESA WorldCover та Copernicus Global Land Service. Встановлено, що використання сучасних алгоритмів машинного навчання у поєднанні з

відкритими супутниковими даними дозволяє створювати високоточні тематичні карти земельних ресурсів на глобальному та регіональному рівнях. Проаналізовано можливості хмарної платформи Google Earth Engine як ефективного інструменту обробки супутникових даних та автоматизованої класифікації земельного покриття.

У другому розділі роботи розроблено методику класифікації земельних ресурсів Черкаської області. Сформовано комплексну інформаційну базу дослідження, яка включає супутникові дані Sentinel-2, адміністративні межі області, матеріали земельного кадастру та відкриті геопросторові дані OpenStreetMap. Виконано інтеграцію різнорідних джерел інформації у єдине геоінформаційне середовище, що забезпечило можливість проведення подальшого просторового аналізу.

Розроблено технологічну схему тематичної класифікації земельних ресурсів. Для автоматичного розпізнавання класів земного покриття обґрунтовано використання алгоритмів Maximum Likelihood та Random Forest. Проведений аналіз показав, що алгоритм Random Forest характеризується вищою точністю, стійкістю до шумів та кращими можливостями обробки багатоспектральних супутникових даних. Сформовано навчальну вибірку для основних категорій земель та визначено послідовність виконання класифікаційних процедур.

Розроблено методику геоінформаційної обробки результатів класифікації, яка включає генералізацію класифікованих даних, векторизацію тематичних шарів, топологічний контроль та оцінювання точності класифікації. Встановлено, що комплексне використання зазначених процедур забезпечує підвищення якості кінцевого картографічного продукту та створює умови для його практичного використання.

У третьому розділі роботи виконано класифікацію земельних ресурсів Черкаської області та створено тематичну карту земного покриття регіону. У результаті дослідження виділено шість основних категорій земель: рілля, ліси, водні об'єкти, забудовані території, луки та інші землі. Проведений аналіз

показав, що домінуюче положення у структурі земельного фонду області займають сільськогосподарські угіддя, представлені переважно орними землями.

Досліджено просторовий розподіл основних категорій земельних ресурсів. Встановлено, що найбільші площі ріллі зосереджені у центральних, східних та південних районах області. Лісові масиви переважно розташовані у північній та західній частинах регіону, а також у долинах річок. Водні об'єкти представлені акваторією Кременчуцького водосховища та розвиненою річковою мережею. Забудовані території концентруються переважно у межах найбільших міст області та вздовж основних транспортних коридорів.

Виконано оцінювання точності класифікації за допомогою матриці помилок. Отримано високі значення загальної точності класифікації та коефіцієнта Каппа, що свідчить про достовірність створеної карти земного покриття. Найвищі показники точності були досягнуті для класів водних об'єктів, лісових земель та забудованих територій. Отримані результати підтвердили ефективність використання алгоритму Random Forest для класифікації земельних ресурсів Черкаської області.

Визначено основні напрями практичного використання результатів дослідження. Створена карта класифікації земельних ресурсів може застосовуватися для здійснення земельного моніторингу, ведення державного земельного кадастру, підтримки землевпорядних робіт, оцінювання структури землекористування, контролю змін земного покриття, планування розвитку територій та здійснення екологічного контролю. Встановлено, що використання супутникових даних дозволяє суттєво підвищити оперативність отримання інформації про стан земельного фонду та зменшити витрати на проведення традиційних польових досліджень.

Практичне значення роботи полягає у створенні актуальної цифрової карти земельних ресурсів Черкаської області та розробленні методики її оновлення на основі відкритих супутникових даних. Отримані результати можуть бути використані органами державної влади, територіальними

громадами, землевпорядними організаціями та іншими установами, діяльність яких пов'язана з управлінням земельними ресурсами.

Таким чином, поставлена мета роботи – класифікація земельних ресурсів Черкаської області за даними дистанційного зондування Землі та створення тематичних карт земного покриву із застосуванням геоінформаційних технологій – повністю досягнута, а всі поставлені завдання успішно виконані.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України : Кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2768-14>
2. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/3613-17>
3. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 № 858-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/858-15>
4. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/962-15>
5. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 № 554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/554-20>
6. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Лазоренко Н. Ю., Кінь Д. О. Основи створення інтероперабельних геопросторових даних. Київ : Ліра-К, 2023. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/items/54c04aeb-843b-411b-b45f-9bf1a9d2ff5b>
7. Лященко А. А., Карпенко О. О., Черін А. Г. Інфраструктура геопросторових даних та геоінформаційне забезпечення сталого розвитку територіальних громад. Містобудування та територіальне планування. 2021. Вип. 78. С. 343–355. DOI: 10.32347/2076-815x.2021.78.343-355.
8. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. URL: <https://qgis.org>
9. QGIS Documentation. QGIS User Guide. URL: <https://docs.qgis.org>
10. OpenStreetMap Foundation. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org>
11. OpenStreetMap Wiki. Map features. URL: [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map\\_features](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features)
12. Copernicus Sentinel Online. Sentinel-1 Mission. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-1>
13. Copernicus Sentinel Online. Sentinel-2 Mission. URL:

<https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-2>

14. European Space Agency. Sentinel-2 User Handbook. URL: [https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-](https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook)

[2\\_User\\_Handbook](https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook)

15. European Space Agency. Sentinel-1 Product Specification. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/1877131/Sentinel-1-Product-Specification-18052021.pdf>

16. European Space Agency. Sentinel-2 Products Specification Document. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/0/Sentinel-2-product-specifications-document-V14-9.pdf>

17. European Space Agency. ESA WorldCover 2021: Global land cover product at 10 m resolution. URL: <https://worldcover2021.esa.int>

18. Copernicus Land Monitoring Service. Global Dynamic Land Cover. URL: <https://land.copernicus.eu/en/products/global-dynamic-land-cover>

19. Google Earth Engine. Supervised Classification. Google for Developers. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/guides/classification>

20. Campbell J. B., Wynne R. H., Thomas V. A. Introduction to Remote Sensing. 6th ed. New York : Guilford Press, 2022. 634 p.

21. Richards J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis. 6th ed. Cham : Springer, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-82327-6.

22. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

23. Helber P., Bischke B., Dengel A., Borth D. EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2019. Vol. 12, No. 7. P. 2217–2226. DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2918242.