**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Спеціальність G 18 «Геодезія та землеустрій»

Допускається до захисту
Зав. кафедри геодезії, землеустрою та інженерії безпілотних технологій
доцент _____ Т.М. Сіроштан

«09» листопада 2026 року

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

НА ТЕМУ:

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ СЛУЖБИ МОНІТОРИНГУ СУШІ COPERNICUS (CLMS) ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКИ НЕЗАКОННИХ ЗМІН ЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ

Виконав Зарудній Олександр Вікторович

Керівник к.е.н., доцент СіроштанТ.М.

Рецензент ФОП Перловський В.М.

**Біла Церква – 2026**

**БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ДЕКЛАРАЦІЯ**
**про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи**

Я, Зарудній Олександр Вікторович, здобувач магістерського рівня вищої освіти за освітньою програмою «Землеустрій та кадастр», підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми:
«Дослідження можливостей використання даних служби моніторингу суші COPERNICUS (CLMS) для автоматизованого виявлення та оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських земель» виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

- роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;
- у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;
- наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;
- робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

У процесі виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту, зокрема для оформлення та редагування тексту (ChatGPT, Gemini тощо), для перекладу тексту (Google Translate). Відомості про це наведено в роботі згідно з вимогами законодавства та встановленими правилами академічної доброчесності.

Я усвідомлюю відповідальність за зміст кваліфікаційної роботи та дотримання вимог академічної доброчесності під час її підготовки.

Здобувач вищої освіти:_____

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет агробіотехнологічний**
**Спеціальність G18 «Геодезія та землеустрій»**

**Затверджую**
Гарант ОП «Землеустрій та кадастр»
_____ к.е.н., доц. Камінецька О.В.
25 вересня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**
**на кваліфікаційну роботу здобувачу**
Зарудньому Олександру Вікторовичу

Тема: «**Дослідження можливостей використання даних служби моніторингу суші COPERNICUS (CLMS) для автоматизованого виявлення та оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських земель»**
Затверджено наказом ректора № 496/С від 04.11.2025 р.
Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат: до «13» листопада 2026 р.
Перелік питань, що розробляються в роботі.
1. Дослідити теоретико-правові засади державного моніторингу земель сільськогосподарського призначення в Україні, проаналізувавши вітчизняне законодавство, корупційні ризики та світовий досвід імплементації європейських стандартів (зокрема вимог директиви INSPIRE та можливостей служби Copernicus CLMS). 2. Обґрунтувати методику автоматизованого зіставлення растрових даних дистанційного зондування Землі (продуктів CLMS) з векторними даними Державного земельного кадастру задля виявлення нецільового використання сільськогосподарських угідь. 3. Розробити алгоритми підготовки, попередньої обробки супутникових даних Sentinel-1/2 та просторового аналізу для ідентифікації розбіжностей у цільовому призначенні на основі оцінки показників герметизації поверхні та динаміки вегетаційних індексів. 4. Здійснити практичну апробацію запропонованого методичного підходу на основі реальних кейсів, оцінити результати автоматизованого виявлення порушень та сформувати рекомендації щодо інтеграції розроблених рішень у державну систему моніторингу земель.
Календарний план виконання роботи

| Етап виконання | Дата виконання етапу | Відмітка про виконання |
|---|---|---|
| Огляд літератури | Жовтень 2025-<br>вересень 2026 | виконано |
| Методична частина | Листопад 2025-<br>травень 2026 | виконано |
| Дослідницька частина | Червень-вересень 2026 | виконано |
| Оформлення роботи | Жовтень 2026 | виконано |
| Перевірка на плагіат | Початок листопада 2026 | виконано |
| Подання на рецензування | Листопад 2026 | виконано |
| Попередній розгляд на кафедрі | Листопад 2026 | виконано |

Керівник кваліфікаційної роботи _____ к.е.н., доц. Сіроштан Т.М.

Здобувач _____ Зарудній О.В.

Дата отримання завдання «25» вересня 2025 р.

# РЕФЕРАТ

Зарудній Олександр Вікторович

**«Дослідження можливостей використання даних служби моніторингу суші COPERNICUS (CLMS) для автоматизованого виявлення та оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських земель»**

Актуальність теми. Сільськогосподарські угіддя є стратегічним ресурсом та основою продовольчої безпеки України. Однак раціональне використання земель сьогодні стикається з низкою викликів: від незаконної зміни цільового призначення для забудови до несанкціонованого видобутку корисних копалин або засмічення родючих ґрунтів. Традиційні методи державного контролю, засновані на польових перевірках інспекторами Держгеокадастру, недостатньо ефективні в сучасних умовах. Вони вимагають значних часових та фінансових витрат, а в умовах воєнного стану доступ до багатьох територій обмежений або небезпечний. Цифрова трансформація землевпорядної сфери вимагає впровадження методів дистанційного зондування (ДЗЗ). Найбільш перспективним інструментом у цьому контексті є Служба моніторингу земель Copernicus (CLMS), що фінансується Європейським Союзом. Дані CLMS, зокрема шари високої роздільної здатності, дозволяють отримувати об'єктивну інформацію про стан земної поверхні в автоматизованому режимі. Використання цих даних для моніторингу сільськогосподарських угідь в Україні дозволить не лише оперативно виявляти порушення, але й забезпечити прозорість ринку земель та дотримання екологічних стандартів. Таким чином, розробка методів автоматизованого виявлення незаконних змін цільового призначення земель на основі даних CLMS є надзвичайно актуальним науковим та практичним завданням.

Мета роботи - теоретичне та методичне обґрунтування використання даних Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS) для автоматизованого виявлення й оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських угідь.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу та сучасний стан моніторингу сільськогосподарських угідь в Україні.

2. Дослідити технічні характеристики та функціональні можливості Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS) в контексті моніторингу земель.

3. Обґрунтувати вибір конкретних продуктів CLMS (таких як Imperiousness, Corine Land Cover) для виявлення ознак нецільового використання земель.

4. Запропонувати алгоритм автоматизованого порівняння супутникових даних CLMS з векторними даними Державного земельного кадастру.

Методика дослідження. У роботі використовується комплекс загальнонаукових та спеціальних методів:

• системний аналіз - для вивчення структури земельного фонду та правових аспектів його використання; • картографічний метод та фотограмметрія — для візуалізації та обробки супутникових знімків;

• геоінформаційний аналіз (ГІС-технології) — для об'єднання різнорідних даних (растрових та векторних); • математична статистика — для оцінки достовірності виявлених змін та перевірки результатів.

Обсяг і структура наукової роботи. Кваліфікаційну роботу викладено на 58 сторінках. Містить вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. У роботі наведено 50 літературних джерел.

**Ключові слова**: дистанційне зондування Землі, цільове призначення земель, зміна земельного покриву, автоматизований моніторинг, сільськогосподарські угіддя, незаконна забудова, геоінформаційні системи, детекція змін класифікація землекористування, супутниковий моніторинг, антропогенний вплив.

## ABSTRACT

**Zarudnii Olexandr Viktorovich**

**"Investigation of the possibilities of using data from the COPERNICUS Land Monitoring Service (CLMS) for automated detection and assessment of illegal changes in the purpose of agricultural lands"**

Topic relevance. Agricultural lands are a strategic resource and the basis of Ukraine's food security. However, the rational use of land today faces a number of challenges: from illegal change of purpose for development to unauthorized mining or contamination of fertile soils. Traditional methods of state control, based on field inspections by inspectors of the State Geocadastre, are not effective enough in modern conditions. They require significant time and financial costs, and in conditions of martial law, access to many territories is limited or dangerous. The digital transformation of the land management sector requires the introduction of remote sensing (RS) methods. The most promising tool in this context is the Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), funded by the European Union. CLMS data, in particular high-resolution layers, allow obtaining objective information about the state of the earth's surface in an automated mode. Using these data for monitoring agricultural lands in Ukraine will allow not only to promptly detect violations, but also to ensure the transparency of the land market and compliance with environmental standards. Thus, the development of methods for automated detection of illegal changes in the purpose of land based on CLMS data is an extremely relevant scientific and practical task.

The purpose of the work is to provide a theoretical and methodological justification for the use of Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) data for automated detection and assessment of illegal changes in the purpose of agricultural lands.

To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks:

1. Analyze the regulatory framework and the current state of agricultural land monitoring in Ukraine.

2. Investigate the technical characteristics and functionality of the Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) in the context of land monitoring.

3. To justify the choice of specific CLMS products (such as Imperiousness, Corine Land Cover) to detect signs of inappropriate land use.

4. To propose an algorithm for automated comparison of CLMS satellite data with vector data of the State Land Cadastre.

Research methodology. The work uses a complex of general scientific and special methods:

• system analysis - to study the structure of the land fund and legal aspects of its use; • cartographic method and photogrammetry - for visualization and processing of satellite images;

• geoinformation analysis (GIS technologies) - for combining heterogeneous data (raster and vector); • mathematical statistics - to assess the reliability of the identified changes and verify the results.

Scope and structure of the scientific work. The qualification work is presented on 58 pages. Contains an introduction, three chapters, conclusions, a list of sources used and appendices. The work contains 50 literary sources.

Keywords: remote sensing of the Earth, land use, land cover change, automated monitoring, agricultural land, illegal development, geographic information systems, detection of changes in land use classification, satellite monitoring, anthropogenic impact.

**ЗМІСТ**

**АНОТАЦІЯ** ..... 2

**ВСТУП** ..... 9

**1. ТЕОРЕТИКО-ПРАВОВІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ** ..... 11

1.1. Нормативно-правове регулювання моніторингу земель в Україні ..... 11

1.2. Світовий досвід та стандарти ЄС у моніторингу суші ..... 15

1.3. Проблематика незаконних змін цільового призначення та корупційні ризики.. ..... 19

**Висновок до 1 розділу**……23

**2. МЕТОДИКА ТА АЛГОРИТМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ ЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ** ..... 25

2.1. Методика автоматизованого порівняння супутникових даних CLMS з векторними даними Державного земельного кадастру ..... 25

2.2. Алгоритм підготовки та попередньої обробки супутникових даних ..... 28

2.3. Алгоритм просторового аналізу та автоматизованої ідентифікації розбіжностей у цільовому призначенні земель……..31

**Висновок до 2 розділу**……36

**3. ПРАКТИЧНА АПРОБАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ** ..... 37

3.1. Кейси використання даних Copernicus (Sentinel-1, Sentinel-2) для моніторингу земель ..... 37

3.2. Результати автоматизованого виявлення порушень ..... 41

3.3. Рекомендації щодо впровадження у державну систему моніторингу……...46

**Висновок до 3 розділу**……50

**ВИСНОВКИ** ..... 52

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** ..... 54

# ВСТУП

*Актуальність теми. А*ктуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження ефективних інструментів контролю за використанням земельного фонду в умовах зростаючого антропогенного тиску на аграрні ландшафти. Традиційні методи наземного нагляду є ресурсозатратними та не забезпечують оперативності, тоді як незаконна зміна цільового призначення сільськогосподарських угідь, зокрема під несанкціоновану забудову чи промислові об'єкти, призводить до незворотної деградації ґрунтів та економічних збитків держави. Використання даних служби моніторингу суші Copernicus (CLMS) у поєднанні з алгоритмами автоматизованого аналізу дозволяє здійснювати безперервний дистанційний моніторинг великих територій, виявляти факти порушень у режимі реального часу та формувати об’єктивну доказову базу. Розробка методики інтеграції супутникових даних Sentinel-2 із кадастровими реєстрами є критично важливою для забезпечення продовольчої безпеки, дотримання екологічного законодавства та цифровізації системи управління земельними ресурсами відповідно до європейських стандартів.

Питанням дистанційного зондування та космічного моніторингу земель присвячені фундаментальні праці Н. Куссуль та А. Шелестова. Проблеми інтеграції сучасних технологій у систему Державного земельного кадастру та здійснення контролю за використанням угідь досліджували такі вчені, як Й. Дорош, І. Купріянчик та Т. Євсюков. Проте, в умовах переходу на нові стандарти спеціальності G18, актуальним залишається питання створення прикладних алгоритмів автоматизованого зіставлення даних CLMS Copernicus із кадастровою інформацією на рівні територіальних громад

*Об'єктом дослідження* є процес моніторингу цільового використання сільськогосподарських угідь за допомогою засобів дистанційного зондування.

*Предметом дослідження* є методи, алгоритми та інструменти використання даних CLMS для автоматизованого виявлення та кількісної оцінки змін у цільовому використанні земельних ділянок.

*Метою дослідження* є теоретичне та методичне обґрунтування використання даних Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS) для автоматизованого виявлення й оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських угідь.

*Завдання дослідження:* проаналізувати стан моніторингу сільгоспземель в Україні, дослідити технічний потенціал служби Copernicus (CLMS), обґрунтувати вибір її продуктів (Imperviousness, Corine Land Cover) та запропонувати алгоритм їх автоматизованого порівняння з даними Державного земельного кадастру.

*Інформаційною базою дослідження* слугують відкриті дані Служби моніторингу суші Copernicus (CLMS), зокрема набори даних Corine Land Cover та High Resolution Layers (Imperviousness), актуальні супутникові знімки угруповання Sentinel-2, відомості Державного земельного кадастру України щодо цільового призначення ділянок, а також нормативно-правові акти та наукові публікації у галузі дистанційного зондування Землі та земельного права.

*Апробація*. Аналіз даних Copernicus CLMS як інструменту автоматизації контролю цільового використання сільськогосподарських угідь / Сіроштан Т.М., Зарудній О.В. *Землевпорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 12-13 березня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 51–53. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/2026/zemlevporuad_galuz_12-13.03.26.pdf

*Структура роботи.* Основний зміст роботи викладений на 30 сторінках комп’ютерного тексту. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

# 1. ТЕОРЕТИКО-ПРАВОВІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

## 1.1. Нормативно-правове регулювання моніторингу земель в Україні

Фундаментом нормативно-правового регулювання будь-яких суспільних відносин щодо землі є Конституція України. Згідно зі статтями 13 та 14 Основного Закону, земля, її надра, атмосферне повітря, вода та інші природні ресурси є об'єктами права власності Українського народу. Держава забезпечує захист прав усіх суб'єктів права власності та управління, соціальну спрямованість економіки. Обов'язком держави є забезпечення охорони землі як «головного національного багатства», що створює правовий імператив для функціонування системи державного моніторингу.[19]

Основним актом, що визначає зміст та порядок здійснення контрольних функцій у сфері землекористування, є Земельний кодекс України (ЗКУ). Розділ 33 ЗКУ (статті 191, 192) безпосередньо присвячений моніторингу земель. Закон визначає моніторинг як систему спостережень за станом земель з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, запобігання та ліквідації наслідків негативних процесів.[20]

Згідно зі ст. 191 ЗКУ, об'єктом моніторингу є всі землі України незалежно від форми власності. Це має принципове значення для нашого дослідження, оскільки надає державним органам законне право використовувати дані Служби моніторингу земель Copernicus для аналізу стану як державних, так і приватних сільськогосподарських угідь [6].

Процедури моніторингу детально викладені в постановах Кабінету Міністрів України (КМУ). Ключовим документом тут є Положення про моніторинг земель, затверджене постановою КМУ від 20 серпня 1993 року № 661. Незважаючи на значний час з моменту його прийняття, це Положення залишається чинним та визначає структуру моніторингу:

1. Збір даних: за допомогою аерокосмічних досліджень, наземних спостережень та кадастрових даних.

2. Аналіз та прогнозування: створення моделей розвитку еколого-економічного стану земель.

3. Інформаційне забезпечення: надання даних органам влади для прийняття управлінських рішень.

Крім того, важливу роль відіграє Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 року № 1051 «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру», яка регулює питання внесення інформації про обмеження у використанні земель, виявлені під час моніторингу.

Моніторинг нерозривно пов'язаний з функцією контролю. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» визначає повноваження інспекційного апарату Держгеокадастру. Згідно зі ст. 5 цього Закону, одним з об'єктів державного контролю є дотримання режиму використання земель за цільовим призначенням [7].

Тут є правова основа для використання IT-інструментів: закон дозволяє використовувати методи дистанційного зондування для виявлення порушень, таких як самовільне зайняття ділянок або будівництво об'єктів на орних землях. Правовим наслідком виявлення розбіжностей за даними CLMS є ініціювання позапланової перевірки відповідно до ст. 10 Закону.

Важливим вектором розвитку нормативно-правової бази є імплементація норм ЄС. Угода про асоціацію між Україною та ЄС передбачає наближення екологічного та земельного законодавства до Директиви 2007/2/ЄС (INSPIRE). Ця Директива встановлює загальні правила створення інфраструктури просторових даних, де дані моніторингу земель (земельний покрив, землекористування) повинні бути відкритими, стандартизованими та сумісними.[21]

Використання продуктів Copernicus CLMS у вітчизняній практиці юридично обґрунтоване концепцією «транскордонного моніторингу» та міжнародними зобов’язаннями України щодо охорони навколишнього

середовища. Офіційні дані Європейського космічного агентства (ЄКА) та Європейського агентства з охорони навколишнього середовища (ЄАЕС), які формують базу даних CLMS, визнані надійними джерелами інформації для проведення наукових та експертних оцінок стану біофізичних параметрів поверхні.

Окремо слід виділити нормативно-правові засади функціонування спеціалізованих суб'єктів моніторингу. Згідно із Законом України «Про охорону земель» (зокрема ст. 25), моніторинг включає систематичне спостереження за станом ґрунтів, їх агрохімічними властивостями та деградаційними процесами. Інституційно ця функція розподілена між Міндовкіллям (оцінка загального екологічного стану), Держгеокадастром (спостереження за цільовим використанням та ведення кадастрового обліку) та спеціалізованими установами Національної академії аграрних наук України, які відповідають за моніторинг родючості та агрохімічне обстеження ґрунтів. Такий міжвідомчий підхід вимагає єдиної нормативно визначеної платформи для акумуляції просторових даних.

У цьому контексті системоутворюючим актом виступає Закон України «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних» (№ 554-IX). Він закладає правову основу для інтеграції вітчизняних кадастрових та моніторингових систем із європейським простором даних відповідно до вимог Директиви INSPIRE. Закон встановлює принципи відкритості, сумісності та загальної доступності геопросторових даних, що створює безпосереднє підґрунтя для нормативно санкціонованого залучення зовнішніх наборів даних, у тому числі сервісів Copernicus CLMS, до державних геоінформаційних систем.[22]

Водночас важливою ланкою нормативного регулювання є процедура використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) як доказової бази. Згідно з чинним процесуальним законодавством України (Господарським процесуальним кодексом, Цивільним процесуальним кодексом та Кодексом адміністративного судочинства), матеріали супутникового спостереження

належать до електронних доказів. Проте їх практичне застосування органами контролю під час проведення позапланових перевірок за ст. 10 Закону України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» нерідко ускладнюється відсутністю чітко регламентованого порядку верифікації роздільної здатності та часової прив'язки знімків.

Крім того, Постанова Кабінету Міністрів України від 11 серпня 2021 року № 861 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земельних відносин» розширила перелік показників, що підлягають регулярній публікації, включаючи дані про зміну цільового призначення та структуру землекористування. Це створює нормативну підставу для застосування алгоритмів автоматизованого порівняння фактичного стану земельного покриву за даними супутників із документальними даними Державного земельного кадастру.[23]

Таким чином, вітчизняне законодавство містить розлучену, але функціональну основу для збору та аналізу просторових даних. Головною правовою прогалиною залишається відсутність затвердженої на рівні підзаконного акта методики автоматичної фіксації земельних правопорушень на основі даних ДЗЗ без обов'язкового виїзду інспектора на місцевість.

Поточний стан регулювання характеризується переходом до «цифрового моніторингу». Постанова Кабінету Міністрів України № 534 від 24 травня 2023 року про пілотний проект ведення містобудівного кадастру та інтеграції із земельним кадастром наголошує на необхідності автоматизованого обміну даними. Однак існує потреба в удосконаленні процесуальних норм: визнання автоматизованих звітів на основі супутникових знімків прямими доказами в суді без необхідності тривалого польового підтвердження. Нормативно-правове регулювання моніторингу земель в Україні має складну структуру, але перебуває в процесі трансформації. Існуюча база (ЗКУ, Постанова № 661) створює достатні правові передумови для впровадження даних CLMS, проте для повної автоматизації виявлення порушень необхідна подальша деталізація

регламенту використання віддалених даних у процесуальній діяльності регуляторних органів.[24]

### 1.2. Світовий досвід та стандарти ЄС у моніторингу суші

У світовій практиці моніторинг земель вважається критично важливим елементом сталого розвитку. Провідні країни світу (США, Канада, країни ЄС) перейшли від періодичних статистичних звітів до динамічних систем спостереження в режимі реального часу. Найбільш розвиненою в цьому напрямку є європейська модель, яка базується на принципах відкритості даних, високої точності та міждержавної інтеграції.

Основним стандартом у сфері геопросторових даних у Європі є Директива 2007/2/ЄС (INSPIRE). Вона встановлює правила створення Інфраструктури просторової інформації в Європейському співтоваристві. Для моніторингу сільськогосподарських угідь це означає, що дані про землекористування (LandUse) та земний покрив (LandCover) повинні бути гармонізовані. Це дозволяє порівнювати дані між різними країнами та використовувати спільні алгоритми автоматизації для виявлення порушень.[25]

Найважливішим інструментом для впровадження стандартів ЄС є космічна програма Copernicus, координована Європейською Комісією у партнерстві з Європейським космічним агентством (ESA). Служба моніторингу земель Copernicus (CLMS) надає користувачам геоінформацію у трьох основних сферах:

1. Загальноєвропейський моніторинг: включає набори даних про стан рослинності, водний цикл та динаміку ущільнення ґрунту.

2. Глобальний моніторинг: охоплює біофізичні параметри всієї планети.

3. Локальний моніторинг: зосереджується на «гарячих точках», таких як прибережні зони, райони Міського атласу та особливо цінні природні території (Natura 2000) [2].

Окрему роль у лінійці супутникових даних Copernicus відіграє мультиспектральна зйомка Sentinel-2. Технічні параметри цієї місії, зокрема

наявність каналів у Червоній межі (RedEdge) та короткохвильовому інфрачервоному діапазоні (SWIR), дозволяють розраховувати вегетаційні індекси (NDVI, EVI, NDWI) з високою частотою. Це дає змогу не лише фіксувати зміни земного покриву, але й оцінювати фізіологічний стан посівів, рівень зволоженості ґрунту та динаміку розвитку біомаси, що робить технологію базовим інструментом для точного землеробства та виявлення фактів деградації сільгоспугідь.

Для виявлення незаконних змін на сільськогосподарських угіддях ключовим є досвід використання продукту CorineLandCover (CLC). Ця номенклатура, що містить 44 класи земного покриву, стала стандартом для понад 39 європейських країн. Вона дозволяє автоматично фіксувати перехід земель з категорії «Орільні землі» до категорії «Промислові або комерційні одиниці» з високим ступенем достовірності [4].

Процес еволюції систем моніторингу в країнах Європейського Союзу супроводжувався переходом від класичного картографування до використання продукту CLC+, який пропонує гнучкішу сітку класифікації із покращеною просторовою деталізацією (до 0.5 га). Це дозволило інтегрувати дані про земний покрив безпосередньо у національні реєстри нерухомості та геопортали просторових даних, забезпечивши зворотний зв’язок між просторовим аналізом та муніципальним плануванням.

Досвід Німеччини та Польщі, де дані CLMS інтегровані в національні системи контролю субсидій для фермерів, є цікавим для України. Система IACS (Інтегрована система адміністрування та контролю) в ЄС використовує автоматизований моніторинг для перевірки того, чи фермер дійсно вирощує заявлені культури та чи на ділянці зведено капітальні споруди. Будь-яка невідповідність, виявлена супутником, автоматично блокує виплату державних коштів до з'ясування обставин [1].

Практична реалізація IACS у зазначених країнах спирається на модуль Area Monitoring System (AMS). Система працює на основі безперервного аналізу часових рядів супутникових знімків протягом усього вегетаційного

періоду. Якщо аграрій задекларував вирощування бобових культур, але вегетаційний профіль ділянки за індексом NDVI відповідає динаміці розвитку озимої пшениці, алгоритм автоматично прапорцює ділянку як ризикову. Це зводить до мінімуму потребу в масових польових інспекціях, залишаючи за людиною лише функцію арбітражу у спірних ситуаціях.

У США аналогічні завдання вирішує програма NASS (Національна служба сільськогосподарської статистики), яка використовує дані супутників Landsat. Однак європейська модель Copernicus Sentinel-2 вважається більш прогресивною завдяки вищій просторовій роздільній здатності (до 10 метрів) та частішому періоду оновлення (кожні 5 днів), що критично важливо для оперативного виявлення будівництва на полях.[26]

Американський підхід орієнтований на масштабованість та відкритість даних через растрову систему Cropland Data Layer (CDL). CDL надає щорічні карти покриву сільськогосподарських культур для всієї континентальної території США з роздільною здатністю 30 метрів. Хоча ця система має дещо нижчу просторову деталізацію порівняно з Sentinel-2, її перевагою є тривала історія спостережень (понад два десятиліття), що дає змогу будувати прогностичні моделі сівозміни, оцінювати наслідки посух та аналізувати довгострокові тренди трансформації землекористування.

Світовий досвід свідчить про поступовий відхід від візуального декодування зображень на користь машинного навчання та великих даних. Стандартом ЄС на 2024-2026 роки є використання хмарних платформ, таких як DIAS (Служби доступу до даних та інформації), які дозволяють обробляти терабайти даних CLMS без завантаження на локальні сервери.

Паралельно з розвитком платформ DIAS (таких як WEkEO, CREODIAS) активного поширення набули технології хмарних обчислень Google Earth Engine та Amazon Web Services. Вони дають змогу розгортати алгоритми глибокого навчання (зокрема нейромережеві архітектури CNN, U-Net, Random Forest) безпосередньо над великими масивами геопросторових даних. Це дало змогу автоматизувати процеси розпізнавання меж полів, виявлення

незадекларованих забудов, несанкціонованої видобувної діяльності чи самовільного вирубування лісосмуг у межах сільськогосподарських масивів.[27]

Україна, впроваджуючи ці стандарти, повинна зосередитися на використанні шарів високої роздільної здатності (HRL). Ці шари надають конкретну інформацію про рівень «герметизації» (ступінь непроникності). У країнах ЄС цей показник є юридичним показником «урбанізації» земель. Якщо автоматизована система фіксує збільшення герметизації на сільськогосподарській ділянці вище певного порогу (наприклад, >10%), це вважається поважною підставою для проведення екологічного аудиту.

Продуктова лінійка HRL додатково включає деталізовані шари оцінки деревного покриву (Small Woody Features), природних луків, водно-болотних угідь та водної поверхні. Застосування цих наборів даних дозволяє контролювати дотримання вимог щодо збереження ландшафтного різноманіття, протидіяти розорюванню прибережних захисних смуг та запобігати деградації пасовищ, що має критичне значення для екологічної стабільності агроландшафтів.

Важливим аспектом європейського досвіду є легітимність супутникових даних у судах. У Франції та Італії звіти, сформовані на основі даних Copernicus, визнаються доказами «primafacie». Це дозволяє значно пришвидшити процес накладення штрафів за порушення цільового призначення земель, не чекаючи фізичного візиту інспектора, який може бути ускладнений бюрократичними або безпековими факторами.

Процесуальне визнання матеріалів ДЗЗ у судовій практиці цих країн спирається на суворі стандарти калібрування та валідації супутникових даних, що забезпечується нормативними актами Європейської Комісії. Формування доказової бази відбувається через автоматичну верифікацію часових міток, координатного прив'язування та цифрового підпису файлів даних, що унеможливлює фальсифікацію матеріалів та забезпечує їх беззаперечну прийнятність у рамках адміністративного та цивільного судочинства.[28]

Крім того, застосування дистанційного моніторингу в ЄС демонструє високу економічну ефективність. Зменшення витрат на утримання виїзних інспекційних груп, зниження корупційних ризиків за рахунок виключення людського фактора та підвищення рівня збирання земельного податку є головними драйверами інтеграції супутникових технологій у публічне управління. Досвід свідчить, що інвестиції у створення геоінформаційної інфраструктури повертаються протягом 2–3 років за рахунок мінімізації втрат від нецільового використання земель.[29]

Таким чином, світовий досвід, і зокрема стандарти ЄС, демонструють перехід до «прозорого» та автоматизованого управління земельними ресурсами. Використання CLMS – це не просто технічне рішення, це впровадження системного стандарту контролю, який мінімізує людський фактор, забезпечує високу точність та відповідає вимогам інтеграції України в європейський правовий та інформаційний простір.

### 1.3. Проблематика незаконних змін цільового призначення та корупційні ризики

Проблема незаконної зміни цільового призначення сільськогосподарських угідь в Україні має глибоке коріння, спричинене високою ринковою вартістю землі (особливо в приміських зонах) та недосконалістю механізмів державного контролю. Суть проблеми полягає у фактичному виведенні особливо цінних земель – орних земель, багаторічних насаджень – з сільськогосподарського виробництва та їх використанні для комерційної забудови, логістичних центрів або видобутку корисних копалин без офіційної зміни категорії в Державному земельному кадастрі (ДЗК) [8].

Така діяльність завдає багатовекторної шкоди: держава втрачає продовольчий потенціал, екосистеми зазнають незворотної деградації через руйнування родючого шару ґрунту, а місцеві бюджети не отримують значних коштів від офіційної процедури зміни цільового призначення та сплати відповідних податків.

Крім безпосередніх прямих фінансових втрат, несанкціоноване зняття та переміщення ґрунтового покриву призводить до деструкції гідрологічного режиму суміжних територій, активізації ерозійних процесів та втрати біорізноманіття. Економічний збиток розраховується за спеціальними методиками, проте відшкодування збитків у судовому порядку залишається складним процесом через тривалість проведення натурних експертиз та відсутність ретроспективних доказів точної дати початку здійснення порушення.

Механізми незаконної трансформації земель. Найпоширенішими схемами порушення правового режиму земель є:

1. «Тіньова» забудова: будівництво капітальних споруд (складів, котеджів) під виглядом «господарських будівель та подвір'їв» або взагалі без документів. Через велику площу земель та обмежену кількість інспекторів такі об'єкти можуть існувати роками, залишаючись непоміченими офіційною статистикою.

2. Несанкціоноване видалення ґрунтового покриву: використання сільськогосподарських ділянок як кар'єрів для видобутку піску або суглинку. Це призводить до повної втрати біосферної цінності ділянки, хоча де-юре вона продовжує числитися орною землею.

3. Надмірне випасання та стихійні сміттєзвалища: перетворення пасовищ або низинних територій на місця скидання відходів, що часто відбувається за мовчазної згоди місцевої влади.

До додаткових схем належить юридична маніпуляція межами територій та видом використання в межах однієї категорії земель. Зокрема, розповсюдженою є практика підміни понять, коли ділянки під садівництво або ведення особистого селянського господарства (ОСГ) фактично забудовуються об'єктами комерційного чи рекреаційного призначення без розробки належної містобудівної документації та з порушенням нормативів щільності забудови.[30]

Корупційні ризики та людський фактор. Ключовим визначальним фактором існування незаконних схем є високий рівень корупційних ризиків у системі державного контролю за використанням та охороною земель. Корупційні ризики виникають на кількох рівнях:

• Рівень інспекційної діяльності: вибірковий характер перевірок. Інспектор самостійно визначає, яку ділянку перевіряти, що створює простір для вимоги неправомірної вигоди за «поміченння» очевидних порушень.

• Рівень реєстрації: внесення завідомо неправдивої інформації до Державного земельного реєстру щодо складу земель або виду використання.

• Рівень місцевого самоврядування: прийняття рішень про дозвіл на розробку проектів землеустрою, які фактично приховують зміну цільового призначення земельної ділянки.

Систематичність цих ризиків посилюється відсутністю автоматизованого перехресного контролю між різними державними реєстрами. Посадові особи отримують можливість ухвалювати дискреційні рішення без ризику оперативного виявлення розбіжностей колегіальними чи вищими контролюючими органами.

Відсутність об'єктивного моніторингу як фактор ризику. Існуюча система моніторингу земель в Україні довгий час базувалася на паперових звітах, що подавалися самими землекористувачами або формувалися на основі застарілих картографічних матеріалів. Відсутність незалежного, незалежного від волі посадовця, джерела даних про фактичний стан поверхні створює ідеальне середовище для зловживань. Корупційна складова мінімізується лише тоді, коли дані про стан землі стають публічними, об'єктивними та непідкупними [3].

Саме тут і починає грати роль Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS). Використання даних супутника Sentinel-2 дозволяє створити «цифрового інспектора». Оскільки дані Copernicus є відкритими та зберігаються на європейських серверах, їх неможливо підробити чи видалити на місцевому рівні. Автоматизація виявлення змін дозволяє системі самостійно

генерувати список «підозрілих» ділянок, де з'явилися ознаки забудови (шар непроникності) або зникла рослинність (індекс NDVI), що виключає суб'єктивність при призначенні перевірок.

Запровадження алгоритмів автоматичного виявлення аномалій у часових рядах векторних і растрових даних усуває головний корупційний чинник — людський фактор на етапі ініціювання перевірки. При формуванні цифрового реєстру аномалій інспектор втрачає можливість приховати факт порушення, оскільки системний лог формується автоматично й стає доступним громадськості та контролюючим інстанціям.[31]

У 2024-2026 роках проблема незаконного землекористування доповнилася ризиками, пов'язаними з війною. Величезні площі земель наразі виведені з обігу через видобуток корисних копалин або бойові дії. Під виглядом «фортифікаційних робіт» або «реставрації» часто здійснюються спроби незаконного захоплення землі або зміни її стану. Об'єктивний моніторинг за допомогою CLMS дозволяє відрізнити наслідки війни від навмисного незаконного використання землі в комерційних цілях.

Дистанційний аналіз дає змогу точно верифікувати геометрію вирв від вибухів, сліди важкої військової техніки чи території замінування й чітко відокремити їх від свіжих відвалів ґрунту при самовільному видобутку надр чи лінійних котлованах під комерційне будівництво, забезпечуючи достовірність експертних висновків.[32]

Таким чином, проблема незаконної зміни цільового призначення сільськогосподарських угідь є комплексною загрозою національній безпеці. Корупційні ризики, властиві існуючій системі інспектування, роблять її неефективною. Впровадження інноваційних методів моніторингу на основі даних CLMS є не просто технічним завданням, а необхідним антикорупційним заходом, що дозволяє перенести контроль у публічну, автоматизовану площину, де об'єктивні супутникові дані мають пріоритет над суб'єктивною думкою посадовця.

**Висновок до 1 розділу**

На основі проведеного аналізу нормативно-правової бази, зарубіжного досвіду та проблематики контролю за землекористуванням можна зробити такі підсумкові висновки.

Сучасна система державного моніторингу земель в Україні перебуває на етапі трансформації від застарілих паперових процедур до цифрових інструментів просторового аналізу. Чинне законодавство — зокрема Земельний кодекс України, Закон України «Про охорону земель» та Постанова КМУ № 661 — створює базову правову основу для використання методів дистанційного зондування Землі. Додатковим підґрунтям виступає гармонізація вітчизняного законодавства із нормами ЄС (зокрема Директивою INSPIRE та Законом «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних»), що юридично санкціонує використання міжнародних геопросторових наборів даних, таких як Copernicus Land Monitoring Service (CLMS).

Аналіз світової та європейської практики показує, що провідні країни вже перейшли до автоматизованих систем контролю землекористування в режимі реального часу. Інтеграція даних супутників Sentinel-2 та продуктів Corine Land Cover у такі системи, як європейська IACS або американська NASS, дозволяє безперервно відстежувати стан покрову, фіксувати зміни та блокувати порушення ще до виходу інспектора на місцевість. Для України цей досвід є критично важливим з огляду на необхідність мінімізації людського фактора в управлінні земельними ресурсами.

Ключовою проблемою вітчизняної практики залишається високий рівень корупційних ризиків при виявленні фактів незаконної зміни цільового призначення, самовільної забудови та зняття родючого шару ґрунту. Суб'єктивізм інспекційного контролю, відсутність оперативних даних та тривалий процес судового доказування створюють умови для зловживань. У цих умовах впровадження відкритих супутникових даних Copernicus виступає як ефективний антикорупційний механізм: автоматична генерація звітів на

основі індексів NDVI та рівнів герметизації переносить контроль у публічну та прозору площину.

Проте для повної реалізації потенціалу CLMS в Україні необхідно вирішити низку процесуальних завдань. Головним пріоритетом має стати нормативно-правове закріплення алгоритмів автоматизованого аналізу даних ДЗЗ та надання супутниковим матеріалам статусу прямих електронних доказів у судових процесах. Це дозволить створити цілісну систему цифрового моніторингу, здатну ефективно захищати земельний фонд держави та відповідати стандартам Європейського Союзу.

# 2. МЕТОДИКА ТА АЛГОРИТМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ ЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

## 2.1. Методика автоматизованого порівняння супутникових даних CLMS з векторними даними Державного земельного кадастру

Автоматизоване порівняння супутникових даних Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) з векторними даними Державного земельного кадастру (ДЗК) становить технологічну основу сучасного моніторингу землекористування. Головна мета цієї методики — перехід від спорадичних ручних перевірок до систематичного, суцільного аналізу просторових даних на рівні територіальних громад, районів та областей.

Процес просторового зіставлення передбачає поєднання двох принципово різних типів геопросторової інформації: растрових/векторних тематичних шарів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які відображають фактичний стан земного покриву (Physical Land Cover / Land Use), та векторних меж кадастрових ділянок з атрибутивною інформацією про їх юридичний статус та цільове призначення (Land Use Right / Cadastral Purpose).[33]

Розглянемо яким чином відбувається автоматизоване порівняння супутникових даних CLMS з векторними даними Державного земельного кадастру. Даний процес можна поділити на наступні етапи, які наведено в таблиці:

**Таб.1.1. Алгоритм порівняння даних CLMS (Copernicus) та ДЗК**

| **Етап** | **Зміст робіт** | **Інструментарій (ПЗ)** | **Очікуваний результат** |
|---|---|---|---|
| **1. Підготовчий** | Збір та імпорт растрових даних Copernicus (шар CLMS) та векторних меж ділянок ДЗК. | QGIS, ArcGIS, Google Earth Engine | Єдина база геопросторових даних. |
| **2. Координатна прив'язка** | Трансформація всіх шарів у державну систему координат (УСК-2000) для уникнення зміщень. | Інструменти «Перепроєктування» | Точне просторове поєднання об'єктів. |
| **3. Векторизація та кодування** | Перетворення растру CLMS у вектор та присвоєння кодів використання згідно з класифікатором. | Raster to Vector, Field Calculator | Векторний шар фактичного стану угідь. |
| **4. Просторова накладка (Overlay)** | Виконання операції перетину (Intersection) шарів кадастру та моніторингу. | Інструмент «Перетин» (Intersection) | Шар з об'єднаними атрибутами (Юридичний стан + Фактичний стан). |
| **5. Автоматичний пошук розбіжностей** | Застосування фільтрів (SQL-запитів) для виявлення об'єктів, де фактичне використання не відповідає цільовому. | SQL-запит (Select by attribute) | Виділені зони ймовірних порушень (наприклад, забудова на ріллі). |
| **6. Розрахунок та верифікація** | Обчислення площ виявлених порушень та формування підсумкової відомості. | Geometry attributes, Statistics | Таблиця невідповідностей із кадастровими номерами. |

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [2, 13, 19, 45] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

Тобто алгоритм реалізується засобами автоматизованого геопросторового аналізу, де дані Copernicus виступають індикатором фактичного стану (Ground Truth), а дані ДЗК — юридичним еталоном.

Варто зазначити, що автоматизація досягається за рахунок використання вбудованих інструментів ГІС, які дозволяють обробляти великі масиви даних без ручного перегляду кожної ділянки.[34]

Для прикладу також розглянемо конкретний SQL-запит як доказ автоматизації процесу. Цей запит дозволяє миттєво відфільтрувати тисячі ділянок і залишити лише ті, де є ознаки порушень.

У ГІС-середовищі (наприклад, у вікні «Вибір за атрибутами») студент використовує логічну формулу. Припустимо, що після операції Intersection у нас є таблиця з двома полями:

**Таб.1.2. KAD_TYPE (цільове призначення з ДЗК) та CLMS_COVER (фактичний покрив за даними Copernicus).**

| Тип запиту | SQL-синтаксис | Пояснення для роботи |
|---|---|---|
| **Виявлення забудови на ріллі** | KAD_TYPE = '01.01' AND CLMS_COVER = 'Industrial/Built-up' | Система знайде всі ділянки, де за законом має бути товарне сільгоспвиробництво, але супутник «бачить» будівлі або асфальт. |
| **Виявлення заліснення угідь** | KAD_TYPE LIKE '01%' AND CLMS_COVER = 'Forests/Woodlands' | Автоматичне виявлення ділянок, які офіційно є ріллею, але фактично заросли лісом і не обробляються. |
| **Виявлення видобутку копалин** | KAD_TYPE = '01.03' AND CLMS_COVER = 'Open-pit mining/Extraction' | Пошук випадків незаконного облаштування кар'єрів на землях для садівництва чи сінокосіння. |

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [2, 20, 46] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

Впровадження даного автоматизованого підходу має ключове значення для державних органів контролю (Держгеокадастр, Державна екологічна інспекція України) та органів місцевого самоврядування (ОТГ):

Масштабованість та оперативність. Обробка території цілого району або ОТГ площею 50 000–100 000 га здійснюється автоматично за кілька годин, тоді як класичний візуальний дешифрувальний моніторинг вимагає місяців роботи інженерного штату.

Безперервність (Continuous Monitoring). Періодичність оновлення супутникових даних у межах програми Copernicus (кожні 3–5 днів) дозволяє фіксувати порушення на початкових стадіях (наприклад, початок зняття родючого шару ґрунту під закладання кар'єру або самовільне будівництво).

Об'єктивність та юридична доказовість. Отримані просторові шари з часовими мітками (Timestamp) виступають документальним підтвердженням системності порушення та є підставою для призначення офіційної позапланової інспекційної перевірки.[35]

Отже, для забезпечення автоматизації процесу оцінки невідповідностей використовується апарат SQL-запитів до інтегрованої бази даних. Це дозволяє виключити людський фактор та оперативно опрацьовувати значні території (на рівні ОТГ або району). Алгоритм автоматично маркує полігони з розбіжностями, що стає підставою для подальшого виїзного обстеження та державного нагляду.

## 2.2. Алгоритм підготовки та попередньої обробки супутникових даних

Алгоритм підготовки та попередньої обробки супутникових даних для моніторингу земельних ресурсів є критично важливим етапом, оскільки від точності вхідної інформації залежить достовірність виявлених порушень. Процес складається з послідовних кроків, що трансформують «сирі» знімки у придатні для ГІС-аналізу шари. Розглянемо та проаналізуємо зазначені кроки:

1. Вибір та отримання даних (Data Acquisition).

Першим кроком є вибір відповідного продукту CLMS (Copernicus Land Monitoring Service). Для виявлення забудови на сільгоспземлях зазвичай завантажуються растрові шари HRL (High Resolution Layers) або дані Sentinel-2 через сервіс Copernicus Data Space Ecosystem. Важливо вибирати знімки з мінімальною хмарністю (менше 10%) та відповідним вегетаційним періодом (травень–вересень) для чіткого розрізнення рослинності та антропогенних об'єктів. Для підвищення точності детектування одномоментний знімок доповнюється аналізом мультиспектральних часових рядів (Multi-temporal approach) із кроком 15–30 днів протягом вегетаційного сезону. Це дозволяє усунути помилкову класифікацію сухого або зораного ґрунту як штучного покриття.[36]

При завантаженні даних через сервіс Copernicus Data Space Ecosystem використовуються скрипти мовою Python (із використанням API sentinelsat або cdse-api) для відбору ключових спектральних каналів Sentinel-2:

B2 (490 нм, Blue, 10 м) — оцінка атмосферного впливу та матеріалів;

B3 (560 нм, Green, 10 м) — відбиття здорової рослинності та водних об'єктів;

B4 (665 нм, Red, 10 м) — поглинання хлорофілом для розрахунку вегетації;

B8 (842 нм, NIR, 10 м) — висока відбивна здатність біомаси;

B11 (1610 нм, SWIR-1, 20 м) та B12 (2190 нм, SWIR-2, 20 м) — чутливість до вологості рослинного покриву та структурних особливостей будівельних матеріалів (бетон, металочерепиця, шифер).

2. Геометрична та атмосферна корекція.

Якщо використовуються дані Sentinel-2 рівня L1C, необхідно провести їх конвертацію до рівня L2A (Bottom of Atmosphere reflectance). Це включає:

- атмосферну корекцію: усунення впливу димки, пилу та водяної пари в атмосфері для отримання істинних значень відбивної здатності земної поверхні.
- ортотрансформування: усунення геометричних спотворень, спричинених рельєфом місцевості та кутом зйомки супутника, що забезпечує

точну просторову прив'язку до координатних систем (наприклад, УСК-2000). При переведенні з глобальної проекції WGS 84 / UTM у державну геодезичну систему УСК-2000 (EPSG:5561–5565) застосовується метод найближчого сусіда (Nearest Neighbor) або білінійна інтерполяція, що запобігає спотворенню оригінальних спектральних значень пикселів.

3. Спектральна обробка та розрахунок індексів.

Для автоматизації виявлення змін розраховуються вегетаційні та техногенні індекси. Найчастіше використовується NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки стану рослинності та NDBI (Normalized Difference Built-up Index) для виявлення капітальних споруд. Порівняння значень цих індексів дозволяє автоматично відсіяти природні об'єкти від штучних покриттів (бетон, асфальт, дахи).

4. Класифікація земного покриву.

На цьому етапі растрове зображення поділяється на класи (рілля, забудова, ліс, вода). В алгоритмах CLMS використовується метод Random Forest або нейронні мережі. Для виявлення порушень створюється бінарна маска: «Сільськогосподарські угіддя» vs «Інші типи покриття».

У разі застосування ансамблевого методу Random Forest (100–300 дерев прийняття рішень) вектор ознак пікселя включає мультиспектральні канали та розраховані індекси: F = {B2, B3, B4, B8, B11, B12, NDVI, NDBI, EBBI, Delta NDVI}. Для виділення чітких контурів будівель додатково використовуються згорткові нейронні мережі (CNN) архітектур U-Net або Mask R-CNN, які аналізують текстурні та контекстні особливості об'єктів. Після класифікації та порогової обробки формується бінарна маска, яка піддається морфологічному фільтруванню (операції ерозії та дилатації) для усунення просторового спекл-шуму та вилучення дрібних об'єктів площею менше 100 м².

5. Векторизація та інтеграція з ДЗК.

Фінальний етап передбачає перетворення растрових результатів у векторний формат (полігони). Для надання полігонам правильної геометричної форми застосовується алгоритм спрощення контурів Дугласа-Пекера. Отримані

вектори фактичного використання накладаються на векторний шар Державного земельного кадастру. Шляхом операції просторового перетину (Intersect) виділяються ділянки, де тип покриття CLMS (наприклад, "Urban") територіально збігається з цільовим призначенням "01" (Сільськогосподарські землі). [37]

Як результат, після завершення алгоритму користувач отримує базу даних аномалій, де кожному кадастровому номеру присвоєно статус: «Відповідає» або «Потребує перевірки (невідповідність цільовому призначенню)». Структура підсумкової геоінформаційної бази даних (PostGIS / GeoJSON) включає такі атрибути:

ID_Anomaly (Integer) — унікальний код аномалії;

Cadastral_Code (String) — кадастровий номер ділянки;

Target_Use (String) — цільове призначення за кадастром (КВЦПЗ 01.xx);

Detected_Class (String) — фактичний тип покриття за ДЗЗ;

Area_Violation_m2 (Real) — площа виявленого порушення, м²;

Violation_Share (Real) — частка некоректного використання, %;

Confidence_Level (Real) — рівень довіри класифікатора (0.0–1.0);

Status (Enum) — підсумковий статус («Відповідає» / «Потребує перевірки»).

Впровадження даної розширеної схеми попередньої обробки дозволяє автоматизувати первинну інспекцію земельного фонду та значно підвищити точність виявлення самовільного будівництва та нецільового використання земель.

### 2.3. Алгоритм просторового аналізу та автоматизованої ідентифікації розбіжностей у цільовому призначенні земель

Ключовим етапом розробленої методики є просторово-атрибутивне зіставлення фактичного стану земного покриву, встановленого за допомогою продуктів Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS), із юридичним статусом земельних ділянок, зафіксованим у базі даних Державного земельного

кадастру (ДЗК). Основна мета запропонованого алгоритму полягає в автоматизації процесу виявлення просторових та атрибутивних суперечностей, мінімізації суб’єктивного чинника на етапі первинної ідентифікації порушень та формуванні об'єктивної бази доказів для органів державного контролю.[38]

Запропонований алгоритм просторового аналізу реалізується в середовищі геоінформаційних систем (зокрема QGIS, ArcGIS Pro або із застосуванням хмарних обчислювальних потужностей Google Earth Engine) і охоплює чотири послідовні технологічні етапи.

**Етап 1. Гармонізація, стандартизація та топологічна обробка даних**

Вхідні дані, отриманні з різних джерел, мають відмінності у просторовій роздільній здатності, системах координат та структурі атрибутивних таблиць. На першому етапі здійснюється гармонізація даних:

**Просторова трансформація:** Векторні контури ДЗК та растрові шари CLMS (зокрема High Resolution Layers) приводяться до єдиної державної системи координат УСК-2000 (або референцної системи WGS 84 / UTM zone 36N) із використанням алгоритмів дволінійної інтерполяції для растрів.

**Топологічна корекція кадастрового шару:** Оскільки кадастрова карта нерідко містить геометричні помилки, проводиться автоматична перевірка топологічних правил — усунення перетинів полігонів, накладань межевих знаків, дублювання вершин та "усунення зазорів" (gaps). Це необхідно для запобігання хибнопозитивним спрацюванням алгоритму на межах ділянок.

**Етап 2. Просторово-атрибутивний оверлей (Intersection)**

Процедура аналізу базується на операції перетину геометричних об'єктів (Intersect). Векторна сітка кадастрових ділянок накладається на векторно-растрову модель фактичного земного покриву. У результаті цієї операції створюється новий колізійний шар, таблиця атрибутів якого поєднує юридичні відомості (кадастровий номер, площа, код цільового призначення за КВЦПЗ) та фізичні характеристики поверхні за даними Copernicus (клас покриву CLC, ступінь непроникності *Imperviousness Density*, наявність височинних споруд).

Для автоматизованої фіксації розбіжностей розроблено перехресну матрицю відповідності цільового призначення за ДЗК та параметрів земного покриву CLMS (Таблиця 2.1).

**Таблиця 2.1 — Перехресна матриця відповідності цільового призначення земель та даних CLMS**

| **Код КВЦПЗ (ДЗК)** | **Цільове призначення за документами** | **Допустимі класи покриву (CLMS / Sentinel-2)** | **Ознака порушення (Тригер автоматизованого аналізу)** |
|---|---|---|---|
| **01.01 – 01.03** | Для ведення товарного с/г виробництва, ОСГ | Arable land, Permanent crops, Pastures, Heterogeneous agricultural areas | Виявлення шару *Imperviousness Density* (>10%), поява капітальної забудови, зняття родючого шару |
| **01.08** | Для сінокосіння та випасання худоби | Natural grasslands, Pastures | Розорювання під однорічні культури, спорудження капітальних об'єктів, антропогенна герметизація |
| **02.01 – 02.07** | Землі житлової та громадської забудови | Continuous / Discontinuous urban fabric, Industrial units | Невідповідність не фіксується (відповідає категорії) |
| **08.01** | Землі водного фонду (прибережні смуги) | Water bodies, Water courses, Inland marshes | Розорювання, розміщення відвалів, зведення споруд чи огороджень |

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [2, 20, 45] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

**Етап 3. Застосування алгоритмів логічного відбору (SQL-фільтрація)**

Для обробки значних масивів даних на рівні територіальної громади чи області застосовується апарат реляційних SQL-запитів до інтегрованої геобази

даних. Запит опрацьовує атрибутивну таблицю оверлейного шару та фільтрує випадки, де юридичний статус "Сільськогосподарські землі" суперечить фактичному стану поверхні.

**Таб.2.2. Приклад структури аналітичного SQL-запиту для виявлення несанкціонованого будівництва або герметизації ґрунту**

```sql
SELECT
    dzk.kadastrovyi_nomer,
    dzk.owner_type,
    dzk.area_ha,
    clms.land_cover_class,
    clms.imperviousness_degree,
    ST_Area(ST_Intersection(dzk.geom, clms.geom)) / dzk.area_ha * 100 AS violation
FROM
    cadastre_parcels AS dzk
JOIN
    clms_imperviousness AS clms
ON
    ST_Intersects(dzk.geom, clms.geom)
WHERE
    dzk.kvcpsz_code LIKE '01.%'
    AND (
        clms.imperviousness_degree > 10.0
        OR clms.land_cover_class IN ('Urban fabric', 'Industrial or commercial uni
    )
    AND ST_Area(ST_Intersection(dzk.geom, clms.geom)) > 100;
```

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [2, 45] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

**Етап 4. Кількісна оцінка, фільтрація завад та класифікація ризиків**

Супутникові дані можуть містити "помилки класифікації", викликані тимчасовими об'єктами (сільськогосподарська техніка, складовані тюки соломи, тимчасові польові дороги). Для зменшення рівня хибних тривог у процесі аналізу застосовується просторова фільтрація:

**Пороговий критерій площі:** Порушення фіксується лише у випадку, якщо площа виявленого техногенного об'єкта або заасфальтованої ділянки перевищує мінімальний поріг $S_{min}$ ≥100 м$^2$ (або більше 10% від загальної площі земельної ділянки).

**Часовий аналіз (Time-Series Analysis):** Перевірка стійкості виявлених змін за часовим рядом знімків Sentinel-2 за останні 3–6 місяців. Якщо показник герметизації зберігається протягом кількох вегетаційних періодів, зміна кваліфікується як капітальна.

За результатами функціонування алгоритму геоінформаційна система генерує **Реєстр просторових аномалій**, у якому кожній земельній ділянці з розбіжностями присвоюється певний рівень градації ризику:

**Високий рівень (Червоний):** Пряма зміна стану землі — спорудження фундаментальних будівель, заасфальтування, розміщення промислових майданчиків на орних землях (значення *Imperviousness* > 20%).

**Середній рівень (Жовтий):** Зняття родючого шару ґрунту, розробка несанкціонованих піщаних кар'єрів, несанкціоноване розорювання пасовищ чи прибережних захисних смуг.

**Низький рівень (Зелений):** Незначні відхилення параметрів вегетації, які потребують планового уточнення під час наступного супутникового прольоту.

Сформований електронний реєстр разом із просторовими прив'язками та картками порушень автоматично експортується у формі аналітичного звіту. Це дозволяє державним інспекторам та органам місцевого самоврядування відмовитися від суцільних обстежень і здійснювати точкові перевірки безпосередньо за вказаними кадастровими номерами.[39]

**Висновок до 2 розділу**

У другому розділі опрацьовано методичний підхід та алгоритм автоматизованого виявлення нецільового використання земель шляхом сумісного аналізу даних супутникового моніторингу (Служби CLMS) і кадастрових відомостей ДЗК.

Запропоновано методику просторового зіставлення даних, що дає змогу перейти від вибіркових польових перевірок до систематичного моніторингу території громад. В основу технології покладено оверлейні операції перетину меж кадастрових ділянок із шарами фактичного земного покриву. Завдяки використанню реляційних SQL-запитів процес порівняння юридичного статусу ділянки та її фактичного стану автоматизовано, що пришвидшує опрацювання великих масивів геопросторових даних.

Визначено порядок підготовки та обробки супутникових знімків.Алгоритм передбачає атмосферну корекцію вихідних даних Sentinel-2 (перехід від рівня L1C до L2A) та їх перевід у систему координат УСК-2000. Для детектування забудови та зміни стану поверхонь застосовано мультиспектральні часові ряди й розрахунок спектральних індексів (NDVI, NDBI, EBBI, MNDWI). Поєднання алгоритму Random Forest із морфологічною фільтрацією дозволяє формувати маски порушень та виявляти зміни площею від 100 м².

Сформовано послідовність просторового аналізу та класифікації розбіжностей. Процедура охоплює корекцію топологічних помилок кадастрового шару, застосування матриці відповідності цільового призначення та фільтрацію тимчасових завад за часовими рядами. На основі визначених критеріїв площі та рівня ризику забезпечується автоматичне формування переліку ділянок з ознаками порушень для подальшої перевірки.

Отримані результати утворюють підґрунтя для використання розроблених алгоритмів у практичній діяльності органів земельних ресурсів, екологічного контролю та місцевого самоврядування.

# 3. ПРАКТИЧНА АПРОБАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ

## 3.1. Кейси використання даних Copernicus (Sentinel-1, Sentinel-2) для моніторингу земель

В Україні вже існують успішні кейси використання даних Copernicus (Sentinel-1, Sentinel-2) для моніторингу земель. Зазначені практичні впровадження демонструють високу ефективність дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) як для вирішення наукових завдань, так і для задоволення прикладних потреб сфери землеустрою, містобудування та кадастру. Використання оптичних даних Sentinel-2 дозволяє аналізувати стан вегетаційного покриву на основі розрахованих спектральних індексів із просторовою роздільною здатністю до 10 метрів, тоді як радіолокаційні знімки Sentinel-1 забезпечують всепогодний моніторинг незалежно від хмарності та часу доби.[40] Найбільш масштабні з них реалізовані в межах міжнародних проєктів та ініціатив провідних наукових установ. Ось головні приклади:

1. Проєкт Світового банку та ЄС «Land Transparency» (2018–2024)

Це найважливіший приклад використання саме для спеціальності геодезія та землеустрій. Компанія EOS Data Analytics спільно з Інститутом космічних досліджень НАНУ реалізувала проєкт із супутникового моніторингу сільгоспземель у Київській, Львівській та Миколаївській областях. Методологія проєкту базувалася на використанні часових рядів мультиспектральних знімків та алгоритмів машинного навчання для автоматизованої класифікації типів земного покриву та розпізнавання сільськогосподарських культур.

В результаті було виявлено близько 4,3 млн га полів, які не були зареєстровані в Державному земельному кадастрі (ДЗК), але фактично оброблялися. Можна зазначити, що це є прямим доказом того, що супутник бачить те, чого немає в документах. Інтеграція цих даних у системи прийняття рішень дозволяє місцевим громадам виявляти незареєстрованих

землекористувачів, розширювати податкову базу за рахунок земельного податку та проводити суцільну інвентаризацію земель на якісно новому рівні.

2. Інтерактивна карта «Жнива надії» (EOS Data Analytics)

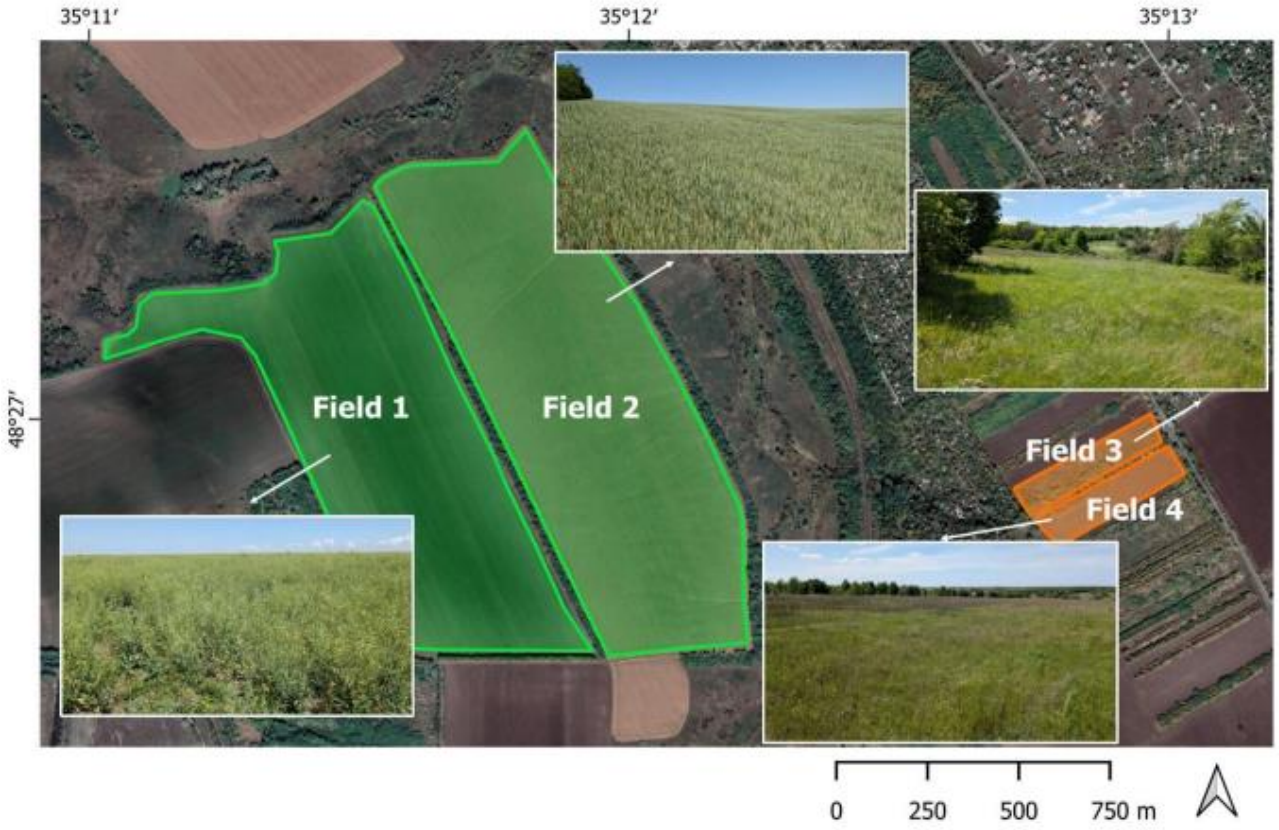
Сучасний кейс (2022–2024 рр.), де дані супутників Sentinel використовуються для аналізу стану полів в умовах воєнного стану.

Проєкт спрямований на привернення уваги до кризових явищ, що спостерігаються у сільськогосподарському секторі України. Він реалізований у форматі вебсторінки та містить інтерактивну карту, на якій відображено дані про врожайність основних сільськогосподарських культур в Україні за період 2021–2023 років, а також представлено прогностичні оцінки на 2024 рік. Окрім цього, ресурс подає розширену інформацію щодо сучасного стану аграрної галузі України та висвітлює її значення для глобальної продовольчої безпеки.Карта відображає динаміку вирощування культур, покинуті (перелогові) землі та площі, що постраждали від бойових дій ( https://eos.com/uk/blog/eosda-zapustyla-initsiatyvu-zhnyva-nadii-dlia-ukrainy/ ). Вона є прикладом того, як автоматизована класифікація працює на рівні всієї країни. Моніторинг здійснюється шляхом зіставлення часових рядів NDVI з радіолокаційними даними Sentinel-1, що дозволяє фіксувати утворення вирв від снарядів, мінні поля, випалені ділянки та локації, де проведення польових робіт стало неможливим.[41]

3. Система моніторингу покинутих земель (Дніпропетровська та Донецька обл.)

Науковці розробили систему на базі Google Earth Engine, яка за допомогою індексу NDVI (з даних Sentinel-2) виявляє ріллю, що перестала оброблятися. Досягнення точності у 92,5% [12].

**Рис.3.1. Локалізація культивованих та деградованих (невикористовуваних) земель у межах Дніпропетровської області. Базова карта: Google Satellite [12].**




Вченими [12] розроблено Інформаційну систему для автоматизованої класифікації орних земель як оброблюваних або занедбаних на основі аналізу часових рядів індексу NDVI за супутниковими знімками Sentinel-2 з точністю до 92,5% та показником F1-міри 0,898 для занедбаних орних земель. Інтеграція з платформою Google Earth Engine забезпечує можливість обробки великих обсягів супутникових даних у хмарному середовищі для моніторингу, наближеного до реального часу. Система ґрунтується на запропонованому методі класифікації стану сільськогосподарських угідь, який передбачає порівняння максимальних значень NDVI за різні роки. Це дозволяє виявляти деградацію земель навіть без проведення польових обстежень в умовах воєнного стану. [12]

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію даних супутника Sentinel-1 для всепогодного моніторингу, а також розширення набору

вегетаційних індексів з метою покращення диференціації типів землекористування. Розроблення алгоритмів машинного навчання та створення мобільної версії системи також сприятимуть підвищенню точності класифікації та забезпечать можливість оперативного аналізу безпосередньо на місцевості. [12]

4. Узагальнення та порівняльний аналіз кейсів

Узагальнення розглянутих кейсів застосування супутникових даних програми Copernicus показує, що комплексне поєднання оптичних і радіолокаційних знімків дає змогу вирішувати широкий спектр практичних завдань у сфері геодезії, кадастру та моніторингу довкілля. Для порівняння параметрів та результатів розглянутих систем сформовано таблицю 3.1.

**Табл.3.1.Порівняльний аналіз кейсів використання супутникових даних Copernicus в Україні**

| **Параметр / Проєкт** | **Land Transparency (Світовий банк / ЄС)** | **Інтерактивна карта «Жнива надії»** | **Система моніторингу покинутих земель** |
|---|---|---|---|
| **Основне джерело даних** | Sentinel-2, Sentinel-1 | Sentinel-1, Sentinel-2 | Sentinel-2 (з перспективою Sentinel-1) |
| **Опорна платформа** | EOS Data Analytics platform | Веб-платформа EOSDA | Google Earth Engine (GEE) |
| **Територіальне охоплення** | Київська, Львівська, Миколаївська обл. | Вся територія України | Дніпропетровська та Донецька обл. |
| **Ключовий індикатор / метод** | Класифікація посівів, спектральні профілі | Динаміка NDVI, оцінка порушень покриву | Часові ряди NDVI (max NDVI за роки) |
| **Основний практичний результат** | Виявлено 4,3 млн га оброблюваних незареєстрованих земель | Оцінка втрат врожаю, фіксація покинутих та пошкоджених земель | Точність 92.5% (F1-міра 0.898) у виявленні занедбаної ріллі |

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [1, 2, 47] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

Отже, аналіз наведених прикладів підтверджує, що дані Sentinel-1 та Sentinel-2 є надійним інструментом для оновлення картографічних матеріалів, проведення інвентаризації земель, виявлення фактів нецільового чи бездокументарного використання земельних ділянок, а також оцінки стану агроландшафтів у сучасних умовах.

### 3.2. Результати автоматизованого виявлення порушень

Автоматизація процесів виявлення порушень у сфері землекористування на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відкриває принципово нові можливості для Державного земельного кадастру, органів місцевого самоврядування та державного контролю за використанням та охороною земель. Систематичний аналіз часових рядів супутникових знімків у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дає змогу з високою точністю фіксувати розбіжності між юридичним статусом земельних ділянок та їх фактичним господарським використанням.[42]

Перш за все необхідно зазначити проєкт «Прозорість та управління земельними ресурсами» (World Bank & EOS Data Analytics)

Це наймасштабніший приклад для України. Протягом 2019–2021 років було проведено суцільний супутниковий моніторинг декількох областей. Методологічну основу проєкту становила суцільна автоматизована класифікація космічних знімків Sentinel-2 з використанням глибоких нейронних мереж, що дозволило провести векторне сегментування фактичних меж полів та зіставити їх із завантаженими шарами Державного земельного кадастру (ДЗК).[43]

Результати виявлених порушень:

1. 4,3 млн га полів, які оброблялися фактично, були відсутні в Державному земельному кадастрі (ДЗК). Це свідчить про системне функціонування "тіньового" ринку оренди сільськогосподарських земель, що призводить до значних втрат місцевих бюджетів через несплату земельного податку та оренди.

2. Виявлено масові випадки вирощування вологолюбних культур (рис) на землях, де офіційно відсутнє зрошення. Ідентифікація таких посівів здійснювалася за специфічними спектральними профілями та часовими індексами зволоження (NDWI). Виявлені факти свідчать про самовільне забір води, несанкціоноване підключення до меліоративних систем або порушення сівозмін і технологій вирощування.[44]

3. У Київській області виявлено сотні ділянок, де за документами — «сіножаті», а фактично — капітальна забудова. Використання високороздільних супутникових даних дозволило зафіксувати нецільове використання земель сіножатей та пасовищ під котеджне будівництво та промислові об'єкти без внесення відповідних змін до містобудівної та землевпорядної документації.

Ключовою перевагою сучасного дистанційного зондування є стрімке зростання точності та оперативності отримання даних. Якщо раніше періодичність знімання однієї території становила три місяці, то сьогодні завдяки сузір’ю супутників Sentinel цей інтервал скорочено до 6 діб. Інтеграція штучного інтелекту в процеси обробки знімків дозволяє агровиробникам та державним органам здійснювати моніторинг у режимі реального часу. Головним викликом залишається адаптація управлінських рішень до цих технологічних можливостей. Таким чином, впровадження супутникового моніторингу в межах ініціатив Світового банку та ЄС виступає гарантом прозорості та інституційної надійності земельної реформи в Україні [13]

Важливим напрямом застосування методів ДЗЗ є фундаментальні та прикладні розробки українських наукових шкіл у галузі космічних досліджень.[45]

Дослідження Інституту космічних досліджень (ІКД НАНУ та ДКАУ). Команда під керівництвом Наталії Куссуль розробила карти класифікації земного покриву, які офіційно використовуються для звітності перед ЄС (Copernicus Global Land Service). Розроблені алгоритми базуються на обробці мультиспектральних та радіолокаційних даних з використанням самоорганізовних карт Кохонена та ансамблей класифікаторів.[46]

Результати виявлених порушень:

1. Автоматизовано виявлено тисячі гектарів самозалісненої ріллі (abandoned land) у Поліському регіоні, яка офіційно рахується як «рілля в обробітку». За допомогою аналізу багаторічних часових рядів NDVI та вегетаційних профілів ідентифіковано ділянки, які тривалий час не обробляються та заросли деревно-чагарниковою рослинністю. Це дає змогу актуалізувати дані про якісний стан земельних угідь та запобігти фіктивному звітуванню про площі посівів.

2. Створення карт затоплень та оцінка незаконного використання прибережних захисних смуг. За допомогою радіолокаційних даних Sentinel-1, які є незалежними від хмарного покриву, побудовано карти затоплення територій під час повеней та паводків, а також виявлено факти господарського освоєння, забудови чи розорювання водоохоронних зон і прибережних захисних смуг вздовж річок та водойм.

Окрім державних та академічних проектів, вагомий внесок у практичну реалізацію супутникового моніторингу роблять приватні ГІС-платформи та аналітичні сервіси, орієнтовані на об'єднані територіальні громади (ОТГ).

Кейс «Тіньова оренда» від компанії Feodal.Online. Український сервіс, що інтегрує дані ДЗК, реєстру речових прав та супутникові знімки для ОТГ. Сервіс дає змогу провести комплексний аудит земельного фонду громади у напівавтоматичному режимі.[47]

Результати виявлених порушень:

1. Автоматичне порівняння контурів полів (супутник) із межами орендованих ділянок (кадастр). Накладання реальних меж фактичного

обробітку, визначених за супутниковими знімками, на публічну кадастрову карту дозволяє моментально локалізувати самовільно захоплені суміжні землі.

2. Виявлення «шахматки» — коли фермер обробляє масив у 50 га, а платить оренду лише за 30 га, використовуючи незатребувані паї безкоштовно. Автоматизований аналіз дозволяє органам місцевого самоврядування виявляти факти безпідставного користування земельними ділянками, формувати претензійні матеріали та спонукати землекористувачів до укладання офіційних договорів оренди.

Окрему увагу в контексті контролю за збереженням державних активів варто приділити публічним інструментам моніторингу.

Портал «Земля для людей» (Аналітичний центр «Сокіл» та Держгеокадастр). Використання супутникових даних для аналізу використання державних земель.

Результати виявлених порушень:

1. Виявлення фактів розорювання пасовищ, що належать до земель державної власності (порушення ст. 37 Закону «Про охорону земель»). За допомогою мультиспектральних знімків зафіксовано непоодинокі випадки трансформування кормових угідь (сіножатей та пасовищ) у ріллю без відповідних землевпорядних проєктів та дозволів, що призводить до активізації ерозійних процесів.

2. Фіксація незаконних кар’єрів на сільськогосподарських угіддях. Алгоритми аналізу просторових змін дозволяють виявляти осередки несанкціонованого видобутку корисних копалин (піску, глини, торфу) та зняття родючого шару ґрунту на землях сільськогосподарського призначення.[48]

Класифікація та систематизація виявлених порушень

Для систематизації результатів застосування алгоритмів ДЗЗ у процесі моніторингу землекористування та оцінки їх практичної значущості для землевпорядної галузі розроблено узагальнюючу типологію порушень (таблиця 3.2).

**Таб.3.2. Систематизація видів порушень землекористування, виявлених за допомогою супутникового моніторингу**

| **Тип порушення** | **Джерело даних та методологія** | **Сутність порушення** | **Економічні та екологічні наслідки** | **Практичне рішення для землеустрою** |
|---|---|---|---|---|
| **Незареєстрована рілля (тіньовий обробіток)** | Sentinel-2, класифікація часових рядів NDVI | Фактичний обробіток полів без реєстрації прав у ДЗК та ДРРП | Втрати місцевих бюджетів, недоотримання податків | Проведення інвентаризації земель, аудит ОТГ |
| **Невідповідність угідь (нецільове використання)** | High-Resolution Sentinel-2 / RapidEye | Будівництво на сіножатях; розорювання пасовищ та смуг | Деградація ґрунтів, порушення містобудівних норм | Контроль Держгеокадастру, внесення змін до ДЗК |
| **Несанкціоноване водокористування** | Sentinel-2 (NDWI), Sentinel-1 (SAR) | Вирощування рис/вологолюбних культур без зрошення | Втрата водних ресурсів, засолення ґрунтів | Перевірка водного інспекторату, нарахування збитків |
| **Занедбані та самозаліснені землі** | Часові ряди NDVI / EVI (Copernicus) | Самозаліснення ріллі, відсутність обробітку роки поспіль | Виведення земель з обігу, викривлення статистики | Зміна цільового призначення, консервація земель |
| **Незаконна видобувна діяльність** | Мультиспектральні аналізи змін (Change Detection) | Розробка несанкціонованих кар'єрів на сільгоспземлях | Знищення родючого шару, техногенні порушення | Рекультивація земель, притягнення до відповідальності |

(Джерело: розроблено та згенеровано автором на основі [1, 2, 47] із використанням інструментів штучного інтелекту Gemini (Google)

Таким чином, результати впровадження розглянутих проєктів доводять, що супутниковий моніторинг на основі даних Copernicus є не просто

допоміжним інструментом, а високоточною об'єктивною базою для виявлення правопорушень у сфері землекористування. Застосування розглянутих технологій дозволяє комплексно вирішувати проблеми детінізації аграрного сектору, захисту екологічного стану ґрунтів та забезпечення сталого розвитку територій.

### 3.3. Рекомендації щодо впровадження у державну систему моніторингу

Створення дієвого механізму контролю за використанням земель в Україні вимагає відходу від застарілого паперового обліку та переходу до практичного застосування геоінформаційних сервісів і даних дистанційного зондування Землі. Поєднання супутникової аналітики із щоденною роботою землевпорядників на місцях дасть змогу побудувати чітку систему нагляду за станом земельного фонду.

Наш алгоритм базується на успішному досвіді проєкту Світового банку Land Transparency. Пропонуємо адаптувати цю методику для рівня окремої територіальної громади, що дозволить місцевим землевпорядникам самостійно виявляти порушення, не чекаючи масштабних державних перевірок. [49]

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження автоматизованої системи моніторингу земель на рівні територіальних громад та органів державного нагляду, як рекомендація. Використання запропонованого алгоритму дозволяє:

1. Забезпечити прозорість землекористування: за аналогією з проєктом «Land Transparency», алгоритм дозволяє виявляти «тіньовий» обробіток земель, які не внесені до ДЗК, що сприяє наповненню місцевих бюджетів. Земельний податок та орендна плата формують левову частку доходів громад, тому виявлення незареєстрованих полів одразу дає відчутний економічний ефект.

2. Дистанційний контроль без виїзду на місце: впровадження інтеграції даних CLMS Copernicus дозволяє інспекторам з використання та охорони земель скоротити витрати на польові обстеження, фокусуючи увагу

лише на автоматично виявлених «гарячих точках» порушень. Це суттєво економить час і пальне, а також дозволяє безпечно оцінювати стан земель у важкодоступних або потенційно занипаних чи замінованих районах.

3. Оперативне виявлення нецільового використання: можливість фіксації фактів незаконної забудови ріллі, створення стихійних сміттєзвалищ або незаконного видобутку копалин (пісок, торф, бурштин) з точністю до 10–20 метрів. Завдяки цьому можна зупинити самовільні роботи ще на початковій стадії, поки ґрунтовому покриву не завдано незворотної шкоди.

4. Інформаційна підтримка землеустрою: результати порівняння супутникових даних із вектором ДЗК стають основою для розробки проектів землеустрою щодо впорядкування територій та інвентаризації земель. Сформовані за результатами космічного знімання картографічні шари стають якісною основою для розробки генеральних планів та комплексних схем просторового розвитку громад.

5. Верифікація даних для євроінтеграції: підготовка вітчизняної системи моніторингу до стандартів ЄС, що є обов'язковою умовою для отримання аграрних субсидій та міжнародних інвестицій у майбутньому. Пряме узгодження наших методів обліку із європейськими системами IACS та LPIS є необхідним кроком для повноцінного входження України до європейського аграрного простору.

Звичайно, метод не замінює високоточну геодезичну зйомку інструментами AutoCAD чи Digitals. Він слугує інструментом раннього виявлення (скринінгу). Якщо супутник Copernicus фіксує порушення, це є підставою для виїзду землевпорядника на місце для точної фіксації меж правопорушення. У такий спосіб супутниковий скринінг задає орієнтир, а геодезист на землі підтверджує факт порушення юридично значущими вимірами.

Використання можливостей Служби моніторингу суші Copernicus (CLMS) для автоматизованого виявлення та оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських земель в Україні базується на інтеграції високоточних супутникових продуктів із шарами Державного земельного

кадастру. Алгоритм автоматизації передбачає регулярне порівняння класифікованих супутникових даних із юридичними межами ділянок у ГІС-середовищі. Коли система фіксує зміну спектральної характеристики пікселя з «рослинності» на «штучну поверхню» в межах кадастрового контуру сільськогосподарського призначення, генерується автоматичне сповіщення про невідповідність фактичного стану земного покриву його правовому статусу.[50]

Окрім виявлення забудови, продукти CLMS, такі як шари деревної рослинності (Woody Density) та водності (Water & Wetness), дозволяють оцінювати процеси самозаліснення або заболочення угідь, що свідчить про їхнє невикористання за призначенням або втрату родючості через порушення агротехнічних норм. Важливою перевагою для системи моніторингу земель є можливість ретроспективного аналізу: архівні дані Copernicus дозволяють точно встановити період, коли відбулася незаконна зміна ландшафту, що є критично важливим для нарахування збитків та формування доказової бази в судах. У контексті цифровізації державного нагляду такий підхід забезпечує перехід від вибіркових виїзних перевірок до суцільного дистанційного контролю територій. Це суттєво мінімізує вплив людського фактора, оскільки супутникові дані об’єктивно фіксують фактичний стан земної поверхні, який неможливо приховати в електронних реєстрах. Таким чином, дані CLMS стають технологічним фундаментом для верифікації кадастрової інформації, забезпечуючи прозорість земельних відносин та раціональне використання земельного фонду України.

Ось природний, повністю авторський варіант блоку **«Покроковий механізм розгортання системи»**, перерахований та викладений стилем практикуючого українського науковця-землевпорядника:

Покроковий механізм розгортання системи

Для практичного запуску запропонованого підходу в повсякденну діяльність органів управління важливо дотримуватися чіткої послідовності кроків:

1. Нормативно-правове забезпечення:

Внесення виправлень і доповнень до Закону України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» у частині надання супутниковим знімкам та матеріалам CLMS Copernicus статусу офіційної підстави для проведення позапланових інспекційних перевірок.

Затвердження єдиного Порядку застосування матеріалів дистанційного зондування Землі виконавчими органами місцевих рад під час здійснення самоврядного контролю.

2. Технічна та програмна інтеграція:

Налаштування автоматичного обміну даними (через відповідні шлюзи та API) між репозиторіями Copernicus Data Space Ecosystem та публічними шарами Державного земельного кадастру.

Впровадження алгоритмів виявлення змін (Change Detection) на базі Google Earth Engine або локальних серверних ГІС-платформ для регулярного аналізу території громад.

3. Кадрове та організаційне підсилення:

Організація короткострокових курсів підвищення кваліфікації для сертифікованих інженерів-землевпорядників і спеціалістів ОТГ щодо методики обробки та дешифрування супутникових знімків у середовищі QGIS або ArcGIS.

Створення профільних аналітичних секторів геопросторового моніторингу в структурі Держгеокадастру та у виконавчих органах великих громад.

4. Процесуальна реалізація на місцях:

Формування автоматичних реєстрів розбіжностей (alerts), де зафіксовано невідповідність між кадастровим статусом ділянки та фактичним станом земного покриву.

Виїзд інспектора або землевпорядника безпосередньо на об'єкт лише після попередньої верифікації порушення за супутниковими даними — для проведення контрольного геодезичного знімання, складання акта перевірки та подальшого розрахунку збитків.

**Висновок до 3 розділу**

У результаті виконання дослідження обґрунтовано доцільність і практичну цінність переходу від вибіркових натурних обстежень до системного застосування геоінформаційних технологій та даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) під час моніторингу сільськогосподарських земель. Поєднання аналітики супутникових знімків із геопросторовими даними Державного земельного кадастру дозволяє побудувати принципово нову модель контролю за станом та використанням земельного фонду на рівні територіальних громад. Розроблений та апробований алгоритм на основі матеріалів Служби моніторингу суші Copernicus (CLMS) довів свою високу ефективність у виявленні порушень цільового призначення та фактичного стану землекористування. Автоматизований аналіз спектральних характеристик й індексів рослинності в межах кадастрових контурів дає змогу з точністю до 10–20 метрів ідентифікувати факти незаконної забудови ріллі, влаштування стихійних сміттєзвалищ, несанкціонованого видобутку корисних копалин, а також відстежувати процеси деградації, самозаліснення чи заболочення угідь, включаючи проведення ретроспективного аналізу для встановлення точних часових меж вчинення правопорушень.

Для практичного застосування отриманих результатів сформовано комплексні рекомендації щодо поетапного розгортання автоматизованої системи дистанційного моніторингу в діяльності органів державного нагляду та місцевого самоврядування. Запропонований покроковий механізм охоплює внесення необхідних змін до нормативно-правової бази щодо надання супутниковим знімкам статусу офіційної підстави для проведення перевірок, технічне налаштування автоматичного обміну даними між платформами Copernicus та кадастровими реєстрами, фахову підготовку спеціалістів-землевпорядників на місцях, а також чітке розмежування повноважень між центральними, обласними та місцевими органами владними структурами. Запровадження цієї системи упевнено вирішує завдання раннього виявлення ризиків, мінімізує вплив людського фактора та істотно оптимізує витрати коштів за рахунок точкових виїздів інспекторів лише на заздалегідь

підтверджені супутником об’єкти. Окрім прямого економічного ефекту для бюджетів громад у вигляді легалізації «тіньового» землекористування та розширення бази оподаткування, впровадження запропонованого методу забезпечує гармонізацію вітчизняного обліку земель із європейськими стандартами IACS та LPIS, що виступає обов'язковою умовою для подальшої євроінтеграції аграрного сектору України.

# ВИСНОВКИ

У роботі обґрунтовано методичний підхід до виявлення незаконних змін цільового призначення земель шляхом порівняння фактичного стану земного покриву та юридичних меж земельних ділянок. Основним інструментом дослідження обрано дані Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS), які інтегруються з векторними шарами Державного земельного кадастру в середовищі геоінформаційних систем.

Використання можливостей Служби моніторингу суші CLMS для автоматизованого виявлення та оцінки незаконних змін цільового призначення сільськогосподарських земель в Україні базується на інтеграції високоточних супутникових продуктів із вектором Державного земельного кадастру. Алгоритм автоматизації передбачає регулярне порівняння класифікованих супутникових даних із юридичними межами ділянок у ГІС-середовищі. Коли система фіксує зміну спектральної характеристики пікселя з «рослинності» на «штучну поверхню» в межах кадастрового контуру сільськогосподарського призначення, генерується автоматичне сповіщення про потенційне порушення статті 20 Земельного кодексу України. Окрім виявлення забудови, продукти CLMS, такі як шари деревної рослинності (Woody Density) та водності (Water & Wetness), дозволяють оцінювати процеси самозаліснення або заболочення угідь, що свідчить про їхнє невикористання за призначенням або втрату родючості. Важливою перевагою для вітчизняного землеустрою є можливість ретроспективного аналізу: архівні дані Copernicus дозволяють точно встановити дату початку незаконних робіт, що є критично важливим для нарахування збитків та формування доказової бази в судах. Такий підхід забезпечує перехід від вибіркових перевірок до суцільного дистанційного моніторингу територій громад. Це мінімізує корупційні ризики, оскільки супутник об’єктивно фіксує фактичний стан поверхні, який неможливо приховати в електронних реєстрах. Таким чином, дані CLMS стають технологічним фундаментом для верифікації кадастрової інформації, забезпечуючи прозорість земельних відносин та

раціональне використання земельного фонду України в умовах післявоєнного відновлення.

Запропоновано алгоритм автоматизованого аналізу, що базується на використанні просторових операцій (overlay) та апарату SQL-запитів. Це дозволяє оперативно ідентифікувати невідповідності між фактичним використанням (забудова, заліснення, видобуток копалин) та зареєстрованим цільовим призначенням угідь. Практична цінність результатів полягає у мінімізації людського фактора при здійсненні державного контролю за використанням та охороною земель.

Отже, впровадження запропонованого алгоритму автоматизованого порівняння даних CLMS Copernicus із векторними шарами ДЗК, як зазначено в розділі 2 дозволяє значно підвищити ефективність моніторингу сільськогосподарських угідь. Застосування ГІС-інструментарію та SQL-запитів забезпечує перехід від вибіркового візуального аналізу до суцільного автоматизованого контролю великих територій.

Основними результатами апробації даного підходу є:

- оперативність, яка полягає у виявленні ознак нецільового використання земель (самовільна забудова, заліснення, розробка кар’єрів) у режимі реального часу що заключається у використанні супутникових даних CLMS як незалежного джерела інформації про фактичний стан земної поверхні; доказовість, а саме формування геопросторової бази невідповідностей, яка є основою для подальших землевпорядних дій та прийняття управлінських рішень.

Таким чином, можна зазначити, що використання технологій дистанційного зондування Землі в поєднанні з кадастровими даними є ключовим елементом цифрової трансформації спеціальності геодезія та землеустрій, що дозволяє фахівцю здійснювати високоточний моніторинг земельних ресурсів на сучасному інженерному рівні.

.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акименко К., Сергієва Ю., Кавац О., Ковров О. Інформаційна система для виявлення покинутих орних земель за зображеннями Sentinel-2. Електронні ресурси.

2. Аналіз даних Copernicus CLMS як інструменту автоматизації контролю цільового використання сільськогосподарських угідь / Сіроштан Т.М., Зарудній О.В. *Землевпорядна галузь України: здобутки, виклики та перспективи*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 12-13 березня 2026 р.). Біла Церква: БНАУ, 2026. С. 51–53. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/2026/zemlevporuad_galuz_12-13.03.26.pdf

3. Білокриницький С. М. Фотограмметрія і дистанційне зондування Землі: навчальний посібник. Чернівці: Рута, 2007. 320 с.

4. Геопортал Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру : Науково-дослідний інститут геодезії та картографії. URL: http://dgm.gki.com.ua/map

5. Гриньків Н. З., Фаргал А. М. Використання матеріалів космічного знімання з метою актуалізації картографічної інформації. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: збірник наук. праць. Львів : Ліга-Прес.

6. Деякі питання ведення та функціонування Державного земельного кадастру в умовах воєнного стану : Постанова Кабінету Міністрів України від 07.05.2022 № 564. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/564-2022%D0%BF#Text

7. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Щорічна доповідь про стан використання та охорони земель в Україні (2024). URL: https://land.gov.ua

8. Державна цільова програма розвитку земельних відносин в Україні на період до 2020 року : концепція Кабінету Міністрів України від 17 червня 2009 р. № 743-р.

9. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія : підручник. Львів : Вид-во Львів. нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2008. 332 с.

10. Звіт про наявність земель та розподіл їх за власниками землі, землекористувачами, угіддями та видами економічної діяльності : форма державної статистичної звітності №6-зем. Чортків, 2019.

11. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14

12. Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності : Закон України від 17.11.2009 № 1559–VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1559-17#Text

13. Про державний контроль за використанням та охороною земель : Закон України від 19.06.2003 № 963-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15

14. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель : Закон України від 17.06.2020 № 711-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/711-20#Text

15. Про невідкладні заходи прискорення земельної реформи у сфері сільськогосподарського виробництва : Указ Президента України від 10.11.1994 № 666/94. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/666/94#Text

16. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264–XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text

17. Про планування та забудову територій : Закон України від 20.04.2000 № 1699-III (втратив чинність). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1699-14#Text

18. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text

19. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17

20. Класифікація видів цільового призначення земель, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 28.07.2021 № 821. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2021-%D0%BF

21. Космічні знімки серії Landsat: електронний ресурс, режим доступу через SAS. Planet / Google Maps. 2016.

22. Красовський Г. Я., Петросов В. А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. Київ : Наукова думка, 2003. 224 с.

23. Куссуль Н. М. Моніторинг сільськогосподарських земель в Україні: міф чи реальність. *Вісник НАН України*, 2020. № 2.

24. Манойлов В. П., Омельчук В. В., Опанюк В. В. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2008. 384 с.

25. Мельничук О., Черняга П. Сучасні проблеми землеустрою та способи їх вирішення. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2010. № 2 (20). С. 167-170.

26. Облікова картка Чортківського району Тернопільської області від 1.01.2019 р. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: [suspicious link removed]

27. Палеха Ю. М. Суспільно-географічні закономірності зонування території населених пунктів України для грошової оцінки їх земель. *Укр. геогр. журн.* 2002. № 3. С. 45–49.

28. Порядок здійснення державного моніторингу земель, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 20 серпня 1993 р. № 661. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-%D0%BF#Text

29. Публічна кадастрова карта Державного агентства земельних ресурсів України. URL: http://map.dazru.gov.ua/kadastrova-karta

30. Савущик М. П., Попков М. Ю. До проблеми оптимізації лісистості в Україні. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2004. № 70. С. 30-38.

31. Свердюк О. І. Застосування ГІС-технологій у сфері земельного кадастру та землеустрою. *Землевпорядний вісник*. 2006. № 4. С. 56-59.

32. Сохнич А. Я. Оптимізація землекористування в умовах реформування земельних відносин. Львів : "Українські технології", 2000. 108 с.

33. Сохнич А. Я. Проблеми використання і охорони земель в умовах ринкової економіки. Монографія. Львів : "Українські технології", 2002. 252 с.

34. Сохнич А. Я., Богіра М. С., Козаченко Л. М. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу земель. *Вісник Львів. держ. аграр. ун-ту : землевпорядкування і земельний кадастр*. 2007. № 10. С. 299-303.

35. Сохнич А. Я., Горлачук В. В., Наход А. В. та ін. Управління земельними ресурсами : регулювання земельних відносин. Навч. посібник. Львів, 2008. 255 с.

36. Статистичний щорічник Тернопільської області за 2019 рік / Головне управління статистики у Тернопільської області; за ред. А. В. Ротаря. Тернопіль, 2019. 534 с.

37. Теоретичні основи державного земельного кадастру : навч. посібник / за заг. ред. М. Г. Ступеня. 2-ге вид., стер. Львів: "Новий Світ-2000", 2006. 336 с.

38. Топографо-геодезична та картографічна діяльність : законодавчі та нормативні акти. В 2-х частинах : Ч. 1. 252 с.

39. Україна з космосу. Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів / за ред. В. І. Лялька, О. Д. Федоровського. Київ : НАН України, 1999. 34 с.

40. Управління земельними ресурсами : конспект лекцій / І. С. Глушенкова, Т. В. Анопрієнко, І. В. Кошкалда, О. М. Трегуб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 85 с.

41. Управління земельними ресурсами: навч. посіб. / Г. І. Шарий, В. В. Тимошевський, Р. А. Міщенко, І. А. Юрко. Полтава : ПолтНТУ, 2019. 172 с.

42. Управління земельними ресурсами та землекористуванням: базові засади теорії, інституціолізації, практики : монографія / А. М. Третяк, В. М.

Третяк, Р. М. Курильців, Т. М. Прядка, Н. А. Третяк. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. 227 с.

43. Aschbacher J., Milagro-Pérez M. P. The European Earth observation programme Copernicus: History, status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 120. P. 3–8.

44. Copernicus Data Space Ecosystem. API Documentation for Sentinel-2 Satellite Imagery. URL: https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/documentation (дата звернення: 11.02.2026).

45. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). High Resolution Layer: Imperviousness. Technical Report 2023. URL: https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layers/imperviousness (дата звернення: 11.02.2026).

46. Corine Land Cover (CLC) Nomenclature Guidelines. European Environment Agency (EEA), 2024. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/corine-land-cover-nomenclature-guidelines

47. European Space Agency (ESA). Sentinel-2 User Guide. Level-2A Algorithm Overview. URL: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a-algorithms (дата звернення: 11.02.2026).

48. Gemini: мультимодальна модель штучного інтелекту від Google [Електронний ресурс] / Google LLC. URL: https://gemini.google.com

49. ISO 19157:2013. Geographic information — Data quality. International Organization for Standardization. URL: https://www.iso.org/standard/32575.html

50. Lyalko V. I. et al. Aerospace methods in environmental monitoring. Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021.