

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

До захисту допущено

Кафедрою екології та менеджменту довкілля протокол № _____ від _____

в.о. завідувача кафедри _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2025 р.

Кваліфікаційна робота

здобувача _____ другого (магістерського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

**СИСТЕМА СТАЛОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ
БАЛАКЛІЙСЬКОЇ ГРОМАДИ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ
ОБМЕЖЕНЬ**

Спеціальність (спеціалізація) _____ 101 «Екологія»
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності - за наявності)

Освітня програма _____ Екологія та охорона навколишнього середовища
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Іван КОВАЛЬОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку
Кафедра екології та менеджменту довкілля
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. .о. завідувача кафедри

_____ / проф. Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

“__” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Івану КОВАЛЬОВУ
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Геоінформаційний моніторинг лісів Харківської області

керівник роботи Андрій АЧАСОВ д. с.-г. наук, професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “__” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи 27. 11. 2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Дослідити можливості геоінформаційних технологій для моніторингу лісових насаджень.
2. Визначити ефективність сервісу Google Earth Engine для оцінки площі лісів
3. Визначити динаміку лісових насаджень Ізюмського району Харківської області

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел з тематики дослідження
2	Написання теоретичного розділу
3	Реєстрація та написання Java скрипту для веб-сервісів
4	Проведення розрахунків
5	Аналіз та узагальнення результатів
6	Формування висновків відповідно до завдання дипломної роботи
7	Підготовка та оформлення списку інформаційних джерел відповідно до вимог норм контролю
8	Редагування оформлення тексту роботи та проходження норм контролю

5. Дата видачі завдання

Студент

підпис

Іван КОВАЛЬОВ

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Андрій АЧАСОВ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Іван КОВАЛЬОВ

Кваліфікаційна робота «Геоінформаційний моніторинг лісів Харківської області» містить 31 сторінок, 3 розділи, 1 таблицю, 12 рисунків, 1 формулу, 17 використаних джерел.

Мета роботи: дослідити динаміку площі лісових насаджень Ізюмського району Харківської області за допомогою геоінформаційних технологій
Актуальність теми. Лісові екосистеми Харківської області зазнають значного антропогенного навантаження та воєнних пошкоджень, що зумовлює необхідність оперативного контролю їхнього стану. Використання геоінформаційних технологій може забезпечити об'єктивний, просторово детальний та динамічний моніторинг лісових територій. Це дозволить своєчасно виявляти зміни, оптимізувати управління та планувати заходи з відновлення лісового фонду.

Завдання : Провести аналіз території за допомогою веб-сервісів з залученням штучного інтелекту, зроби розрахунок площі по індексу NDVI.

Методи. Робота включає практичні та теоретичні методи дослідження.

Результати. для дослідження було обрано знімки території Ізюмського району в період з 2021 по 2025 роки. Проведенно розрахунок площі лісів за індексом NDVI, втрати становлять 20587 га. показано як можна використовувати ШІ в геоінформаційному моніторингу

ЛІС, ЛІСОВІ НАСАДЖЕННЯ, NDVI, ШІ, GEE.

ABSTRACT

GEOINFORMATION MONITORING OF FORESTS IN THE KHARKIV
REGION

Ivan KOVALOV

The qualification work ‘Geoinformation monitoring of forests in the Kharkiv region’ contains 31 pages, 3 sections, 1 table, 12 figures, 1 formula, and 17 sources used.

Purpose of the work: To conduct geoinformation monitoring of the territory of the Kharkiv region based on satellite data and GIS methods to analyse the dynamics of the state of natural complexes in the period 2021–2025.

Relevance of the topic. Geoinformation monitoring of the Kharkiv region is an important tool for assessing the state of the environment after large-scale anthropogenic and military impacts, as well as for identifying trends in its recovery.

Objective: To analyse the territory using web services with the involvement of artificial intelligence, calculate the area using the NDVI index.

Results. Images of the Izyum district territory for the period from 2021 to 2025 were selected for the study. The forest area was calculated using the NDVI index, with losses amounting to 20,587 hectares. The study shows how AI can be used in geoinformation monitoring.

FOREST, FOREST PLANTATIONS, NDVI, AI, GEE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Лісові ресурси: характеристика та необхідність збереження.....	9
1.2 Основні поняття ГІС та їх роль у моніторингу лісів	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ТА УМОВ РЕАЛІЗАЦІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ.....	13
2.1 Характеристика території досліджень	13
2.2 Характеристика лісового покриву Харківської області	14
2.3. Методичні підходи до застосування геоінформаційних технологій в лісовому моніторингу	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	19
3.1. Робота з веб-сервісами та дослідження площі лісових насаджень Ізюмського району	19
3.2. Методичні рекомендації щодо подальшого використання геоінфор маційних технологій у дослідженні лісового покриву.....	23
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	30

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій геоінформаційні системи посідають ключове місце серед інструментів аналізу та управління територіальними процесами. Поєднання можливостей обробки просторових даних, моделювання та дистанційного зондування Землі забезпечує принципово новий рівень дослідження природних та антропогенних змін. ГІС-технології дозволяють отримувати актуальні, достовірні та детальні відомості про стан територій, що робить їх необхідними для прийняття управлінських рішень, забезпечення екологічної безпеки та планування сталого розвитку.

Харківська область є одним із найбільших та найрізноманітніших регіонів України. Вона включає великі площі орних земель, лісів, водних об'єктів та урбанізованих територій, що формують складну структуру ландшафтів. На регіон суттєво вплинули інтенсивне сільськогосподарське освоєння, промислова діяльність, а також військові події 2022–2025 років, які призвели до значних трансформацій природного середовища. У таких умовах постає необхідність регулярного, об'єктивного та оперативного моніторингу території для оцінювання змін земного покриву, стану рослинності, деградації земель та рівня антропогенного навантаження.

Використання даних дистанційного зондування у комплексі з геоінформаційними технологіями дозволяє досліджувати територію в різні часові періоди, оцінювати динаміку її розвитку та виявляти критичні зміни. Зокрема, розрахунок спектральних індексів, таких як NDVI, забезпечує можливість кількісного аналізу стану рослинного покриву, визначення ділянок із порушеною або деградованою рослинністю та відстеження процесів відновлення екосистем.

Мета роботи: дослідити динаміку площі лісових насаджень Ізюмського району Харківської області за допомогою геоінформаційних технологій

Об'єкт дослідження: лісові насадження Харківської області

Предмет дослідження: динаміка площі лісових насаджень Ізюмського району Харківської області

Актуальність дослідження: Лісові екосистеми Харківської області зазнають значного антропогенного навантаження та воєнних пошкоджень, що зумовлює необхідність оперативного контролю їхнього стану. Використання геоінформаційних технологій може забезпечити об'єктивний, просторово детальний та динамічний моніторинг лісових територій. Це дозволить своєчасно виявляти зміни, оптимізувати управління та планувати заходи з відновлення лісового фонду.

Поставленне завдання:

1. Дослідити можливості геоінформаційних технологій для моніторингу лісових насаджень.
2. Визначити ефективність сервісу Google Earth Engine для оцінки площі лісів.
3. Визначити динаміку лісових насаджень Ізюмського району Харківської області

Методи дослідження: робота включає теоретичні та практичні методи: дослідження літератури, опрацювання знімків, опис, аналіз, порівняння.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Лісові ресурси: характеристика та необхідність збереження

Поняття «ліс» у науковій та практичній літературі трактується надзвичайно широко, і сьогодні існує кілька сотень різних підходів до його визначення. Умовно ці трактування можна згрупувати у кілька основних напрямів: по-перше, ліс розглядають як складову частину природного середовища та біосферних процесів; по-друге, його визначають у межах адміністративно-правових норм, що регулюють порядок використання та охорони територій; по-третє, ліс сприймають як ресурсний об'єкт, тобто елемент системи природокористування. У більшості держав світу ліс здебільшого класифікується як специфічний вид земельного фонду, що зумовлює включення до нього не лише деревної рослинності, а й цілої низки супутніх природних та антропогенних компонентів. До їхнього складу входять лісові дороги та під'їзні шляхи, заболочені ділянки, водні об'єкти, галявини, вирубки, місця тимчасової відсутності деревостану та інші елементи, які функціонально і просторово пов'язані з лісовим середовищем.

Відповідно до положень статті 1 Лісового кодексу України, ліс трактується як складний природний комплекс, до структури якого входить не лише деревна та чагарникова рослинність, але й специфічні ґрунтові умови, трав'яний покрив, представники тваринного світу, мікроорганізми та інші елементи природного походження. Усі ці компоненти формують єдину екологічну систему, що функціонує на основі постійної взаємодії між окремими її складовими. Їхній розвиток відбувається у тісному зв'язку та взаємовпливі, що визначає характер екосистемних процесів і стан навколишнього природного середовища загалом. Ліс розглядається не як ізольована сукупність біотичних елементів, а як цілісний живий організм, у

якому кожен компонент виконує важливу роль у підтриманні стійкості та функціональної рівноваги екосистеми.[2]

В.В. Костицький наголошує, що ліс слід розглядати як складний багаторівневий комплекс рослинності, у якому збільшення різноманітності деревних видів спричиняє появу нових структурних і функціональних характеристик. У результаті формується повноцінна екосистема, що включає не лише деревостан, а й ґрунтове середовище, трав'яні рослини, різноманітних комах, птахів і представників фауни, які в сукупності беруть участь у регулюванні екологічних процесів та впливають на стан довкілля [3]. Таким чином, ліс розглядається не просто як насадження деревної рослинності, а як динамічна природна система, в якій усі елементи взаємопов'язані та взаємозалежні.

У чинному Лісовому кодексі України відсутня чітка класифікація лісових ресурсів, однак законодавець визначає їх складові елементи. До лісових ресурсів належать деревні, технічні, лікарські та інші види продукції лісу, що можуть використовуватися для потреб суспільства та виробництва і здатні відтворюватися у процесі природного формування лісових екосистем. Окрім матеріальних продуктів, поняття лісових ресурсів охоплює також їх корисні властивості, які мають важливе екологічне та соціальне значення: здатність лісів пом'якшувати негативні наслідки стихійних природних явищ, забезпечувати протиерозійний захист ґрунтів, фільтрувати та очищати повітря і воду, регулювати водний стік, створювати сприятливі умови для оздоровлення населення, а також формувати естетичну й рекреаційну цінність природних територій [4]. Сукупність цих властивостей дозволяє розглядати лісові ресурси як багатофункціональний елемент природного середовища, що виконує ключову роль у забезпеченні екологічної рівноваги та задоволення суспільних потреб.

1.2 Основні поняття ГІС та їх роль у моніторингу лісів

Поняття геоінформаційної системи традиційно трактується як програмно-апаратний комплекс, призначений для збирання, збереження, аналізу, моделювання та візуалізації просторових даних. У фундаментальній праці «Геоінформаційні системи і бази даних» В. І. Зацерковний та співавтори визначають ГІС як багатофункціональну платформу, здатну інтегрувати дані різної природи — від супутникових знімків до польових вимірювань. Авторами наголошується, що сучасна ГІС є не лише інструментом картографування, а й аналітичною системою, яка дозволяє здійснювати складні геостатистичні розрахунки та будувати моделі просторових процесів [5].

У контексті лісового моніторингу ГІС виступають основою для формування сучасних систем спостереження за динамікою лісового покриву. Зокрема, у статті А. Мельника та М. Ячнюка розглянуто можливість оцінки змін лісистості та структури лісів на основі супутникових знімків Landsat та Sentinel, що інтегруються у ГІС-середовище для подальшого аналізу. Автори демонструють, що застосування ГІС дозволяє швидко та надійно визначати зміни у лісових масивах і оцінювати просторові закономірності цих процесів[6].

Геоінформаційні системи в лісовому господарстві виконують низку стратегічно важливих функцій:

- **Створення та ведення баз просторових даних** - це збирання інформації про лісові масиви, кордони лісового фонду, структуру насаджень та їх вік.
- **Моніторинг стану лісів** - відстежує динаміку вирубок, вітровалів, пожеж і т.д
- **Моделювання розвитку лісових екосистем** - прогноз моделей зміни площ та стану лісів
- **Планування лісогосподарських заходів** - визначення зон для лісовідновлення, оцінка обсягів необхідних робіт

- **Оцінювання екологічних ризиків** - можливість визначати території з підвищеною загрозою пожеж, ерозійних процесів або інвазійних видів [5]

Застосування геоінформаційних технологій у природоохоронній сфері на сучасному етапі набуває особливої актуальності, оскільки значна частина природних процесів має просторову природу, а їх відстеження вимагає системної й динамічної оцінки. Більшість дослідників підкреслюють, що ГІС-технології дозволяють не лише накопичувати значні обсяги просторових даних, а й інтегрувати їх у єдину систему, що суттєво розширює можливості аналізу екосистемних процесів. Так, у роботі С. А. Загородньої зазначається, що ГІС стали ключовим інструментом оцінки стану природно-заповідних територій, оскільки поєднують картографічні, статистичні та моделювальні можливості в одному функціональному середовищі [7]. Значний внесок у розвиток геоінформаційного підходу до охорони лісів зробили В. І. Зацерковний та його колеги. У їх роботах підкреслюється, що поєднання ГІС і дистанційного зондування (ДЗЗ) формує нові можливості для моніторингу лісових ресурсів, що особливо важливо в умовах антропогенного тиску, зміни клімату та воєнних дій на території України. Науковці відзначають, що системи ГІС ефективно використовуються для аналізу лісових пожеж, відстеження змін площі лісів, картографування фрагментації та моделювання екологічних ризиків [8].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ТА УМОВИ РЕАЛІЗАЦІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

2.1 Характеристика території дослідження

Дослідження проводилось на території **Харківської області**. Загальна площа **Харківської області** складає 31,4 тис. км²; чисельність населення станом на 2021 рік складає 2 590,1 тис. осіб.



Рис 1. географічне положення Харківської області

Харківська область розташована в північно-східній частині України та охоплює території середньо руської височини, Придніпровської низовини та окремих відрогів Донецького кряжа. Рельєф переважно рівнинний, з полого-хвилястими та лесовими рівнинами, окремими ділянками підвищень і широкими річковими терасами. Значну роль у формуванні ландшафтної структури відіграє басейн річки Сіверський Донець, долина якої є одним із найбільш виразних природних елементів регіону.

Клімат Харківської області — помірно-континентальний, з теплим літом і відносно холодною зимою. Для території характерні суттєві сезонні перепади

температур, періодичні літні посухи та суховії. Середня температура липня становить приблизно $+21^{\circ}\text{C}$, а січня — близько -7°C . Річна кількість опадів змінюється в межах 520–560 мм, і найбільша їх частка припадає на теплий період року. Узимку формується нестійкий сніговий покрив, який може бути відсутнім у малосніжні роки. Весна часто супроводжується різкими змінами температури та ймовірністю заморозків.

Ґрунтовий покрив області різноманітний, однак домінують чорноземи різної потужності й ступеня еродованості. На півночі та сході поширені сіро-лісові та дерново-підзолисті ґрунти, а в заплавах ділянках — лучні та алювіальні. Чорноземи визначають аграрну спеціалізацію регіону та забезпечують високу природну родючість. Лісистість території становить близько 12 %, найбільші лісові масиви зосереджені в долині Сіверського Дінця. У складі лісів домінують сосна, дуб, клен, береза та ясен, що виконують захисні та рекреаційні функції.

2.2 Характеристика лісового покриву Харківського району Харківської області

Харківська область характеризується значною частиною лісостепової зони, де ліси займають приблизно 318 тис. гектарів території [9]. У лісах та парках регіону росте понад 1 000 видів дерев і кущів. Серед домінуючих порід — дуб черешчатий і сосна звичайна; також зустрічаються ялина, липа, клен, ясень, береза, вільха, верба, осика та тополя. Значна частка підліску представлена ліщиною, бузиною, калиною, глодом тощо. Середній вік лісів — близько 70 років. Лісорозсадники охоплюють 610 га, щороку створюють 500–900 га нових насаджень.

Лісовий покрив Харківського району є складовою частиною загальнообласного лісового фонду й представлений переважно штучними й природними насадженнями лісостепової зони. Загальна лісистість регіону залишається відносно низькою — на рівні порядку 12–13 % від території

області — що визначає роль лісів як локальних екологічних структур із важливими захисними та рекреаційними функціями[10].

Структура лісового покриву Харківського району характеризується домінуванням хвойних і листяних насаджень різного походження. У господарських масивах помітну питому вагу займають насадження сосни звичайної, створені в різні періоди заліснення та меліорації; у місцях природного відновлення та в заплавних ділянках присутні молоді та середньовікові деревостани з домінуванням дуба, берези й вільхи. Аналіз фітоценотичної структури показує неоднорідність породного складу в межах району, що зумовлено як природними ґрунтово-кліматичними умовами, так і історією лісогосподарського освоєння[11].

За функціонально-ландшафтним призначенням лісові масиви району виконують низку ключових екосистемних послуг: захист від ерозії схилів і вітрової деградації, регуляція місцевого мікроклімату, накопичення органічної маси та підтримка біорізноманіття. Окремі ділянки використовуються для рекреації й науково-дослідних потреб, зокрема в системі навчально-дослідних лісництв. Такі функції підкреслені в регіональних оцінках екосистемних послуг і в екологічних паспортах регіону[12].

Стан насаджень у Харківському районі має локально неоднорідний характер. Серед проблемних аспектів виділяються: фрагментація лісових масивів, ерозійні процеси на схилах і яружних системах, наявність малопродуктивних та деградованих насаджень у степовій частині, а також наслідки антропогенного навантаження (вирубки, неузгоджене використання земель). Крім того, вразливість окремих ділянок зростає внаслідок низького рівня полезахисної лісистості, що зменшує природну стійкість агроландшафтів, суміжних з лісами. Ці питання зафіксовано в матеріалах місцевих лісогосподарських інвентаризацій та дослідженнях з лісової меліорації[13].

2.3 Методичні підходи до застосування геоінформаційних технологій в лісовому моніторингу

Геоінформаційний моніторинг лісів ґрунтується на інтеграції даних дистанційного зондування з аналітичними можливостями ГІС, що забезпечує системне спостереження за станом лісових екосистем. Використання супутникових знімків, аерофотозйомки та цифрових моделей місцевості дозволяє отримувати оперативну й просторово деталізовану інформацію про динаміку лісового покриву. Поєднання цих даних у геоінформаційному середовищі підвищує точність виявлення змін, оптимізує процес оцінювання лісових ресурсів і сприяє формуванню обґрунтованих рішень у сфері лісового управління. Такий підхід є ключовим для сучасних систем екологічного контролю, що потребують високої об'єктивності та регулярності спостережень.

Напрями використання геоінформаційних технологій в лісовому господарстві:

- **Моніторинг змін лісового покриву.**

ГІС застосовують для просторового аналізу динаміки лісів, виявлення вирубок, деградації та процесів відновлення за допомогою супутникових даних різних періодів спостереження.

- **Оцінювання стану лісових екосистем.**

Інструменти ГІС дозволяють інтегрувати показники знімків ДЗЗ (NDVI, індекси вологості та біомаси) для визначення здоров'я насаджень, їх продуктивності та стійкості до зовнішніх впливів.

- **Створення та оновлення лісових карт.**

Геоінформаційні системи використовують для формування цифрових карт лісових кварталів, таксаційних характеристик, типів лісу, меж лісових ділянок, що забезпечує їх актуальність і точність.

- **Підтримка інвентаризації та лісотаксаційних робіт.**

ГІС покращують процес збирання та оброблення польових даних,

автоматизують класифікацію деревостанів, дозволяють моделювати структуру та вікову різноманітність насаджень.

- **Просторове планування та управління ресурсами.**

Завдяки поєднанню картографічних шарів і аналітичних інструментів ГІС забезпечують можливість науково обґрунтованого планування рубок, збереження біорізноманіття, розроблення заходів з охорони та відновлення лісів.

За інформаційну основу для дослідження бралась платформа Google Earth Engine (GEE), яка використовує знімки Sentinel 2. Супутникова місія **Sentinel-2** є складовою європейської програми **Copernicus**, яку координує Європейське космічне агентство (ESA). Основне призначення цієї місії полягає у забезпеченні регулярного й високодетального дистанційного спостереження за поверхнею Землі з метою підтримки екологічного моніторингу, картографування природних ресурсів та аналізу динаміки ландшафтних змін. Дані Sentinel-2 широко застосовуються у лісовому господарстві, зокрема для виявлення порушень лісового покриву, оцінки стану насаджень, контролю вирубок та оперативного реагування на наслідки природних катастроф.

Місія складається з двох ідентичних апаратів — **Sentinel-2A** та **Sentinel-2B**, що працюють на сонячно-синхронній орбіті та забезпечують зменшений інтервал повторного покриття територій. Кожен супутник оснащений багатоспектральним сенсором (MSI), який реєструє відбиту поверхнею Землі електромагнітну енергію у **13 спектральних каналах**, що охоплюють діапазони видимого світла, ближнього інфрачервоного (VNIR) та короткохвильового інфрачервоного (SWIR). Така спектральна різноманітність дозволяє виконувати точний аналіз рослинності, визначати рівень вологості ґрунтів, досліджувати теплові аномалії та здійснювати тематичну класифікацію ландшафтів.

Google Earth Engine - Це онлайн-платформа для оброблення й аналізу геопросторової інформації, що забезпечує доступ до масштабного сховища супутникових знімків та різноманітних даних про земну поверхню. Її обчислювальні можливості дозволяють виконувати просторовий аналіз на глобальному рівні без необхідності власних серверів чи потужних робочих станцій. Завдяки такій інфраструктурі дослідники, аналітики, розробники та організації можуть оперативно виявляти просторові зміни, аналізувати довгострокові тенденції й отримувати кількісні оцінки трансформацій у природних і антропогенних ландшафтах.

Можливості які надає GEE[14]:

- **Великий каталог даних** - містить понад вісімдесят петабайтів геопросторових даних, знімки зі супутників, дані про клімат, моделі погоди та карти земного покриття.
- **Обчислення планетарного масштабу:** Платформа запускає алгоритми на хмарній інфраструктурі Google, автоматично розпаралелюючи завдання для ефективної обробки великомасштабних даних.
- **API та середовища розробки:** Користувачі можуть взаємодіяти з GEE за допомогою API Python або JavaScript.
- **Сумісність:** Результати аналізу можна завантажити для використання в сторонньому ГІС-програмному забезпеченні, як-от QGIS та ArcGIS Pro, а GEE можна інтегрувати у власні веб-додатки.

Приклади застосування GEE:

- Моніторинг навколишнього середовища
- Управління природними ресурсами
- дослідження зміни клімату
- управління стихійними лихами
- міське планування

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇЗ АНАЛІЗ

3.1 Робота з веб-сервісами та дослідження площі лісових насаджень Ізюмського району

Даний розділ узагальнює результати опрацювання супутникових знімків та геоінформаційних даних, отриманих у межах дослідження. Для дослідження брався Ізюмський район оскільки найбільше був пошкоджений що краще дозволяє показати роботу геоінформаційних програм.

Аналіз території відбувався на платформі Google Earth Engine (GEE), платформа надає доступ до знімків Sentinel-2 та підтримує мову програмування Java, що пришвидшило роботу. За допомогою штучного інтелекту (ШІ), а саме Google Gemini було написано скрипт для GEE.

Для точного скрипту ШІ були прописані точні критерії, а саме:

- Розрахунок площі за індексом NDVI
- Знімки, щоб бралися Sentinel-2
- Щоб індекс був 0.7
- Написання коду за кожний рік в період з 2021 по 2025
- Точна територія дослідження

```
JavaScript
// 1. Імпорт векторних шарів (відповідно до вашого скріншоту)
var table_izum = table; // Ізюмський район (обмежувальна геометрія)
var table_forests_1 = table2; // Векторний шар лісів 1
var table_forests_2 = table3; // Векторний шар лісів 2

// 2. Об'єднання та обрізання векторних шарів лісів
// Об'єднуємо два шари лісів
var all_forest_vectors = table_forests_1.merge(table_forests_2);

// Обрізаємо об'єднаний шар межами Ізюмського району
var forest_in_izum_district = all_forest_vectors.filterBounds(table_izum.geometry());

// 3. Визначення масштабу та розрахунок площі
// Визначаємо масштаб (scale) для перетворення векторного шару в растровий для розрахунку
// Оскільки ми не використовуємо Sentinel-2, можна використати стандартний масштаб GEE
// або встановити дуже малий масштаб для максимальної точності. Візьмемо 1 метр для точності
var SCALE = 1; // 1 метр для максимальної точності розрахунку площі полігонів

// Розрахунок площі:
// А. Перетворюємо векторний шар на растровий (Image)
var forest_image = ee.Image.constant(1).clip(forest_in_izum_district).rename('area');

// Б. Створюємо зображення, де значення кожного пікселя - це його площа в м²
var areaImage = ee.Image.pixelArea().mask(forest_image);

// С. Сумування площ усіх пікселів у межах обрізаної геометрії лісів
var stats = areaImage.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  geometry: forest_in_izum_district.geometry(),
```

Рис 2. Вигляд коду який надав ШІ

Після написання коду він вставлявся до операційної системи GEE для формування аналітичного знімка.

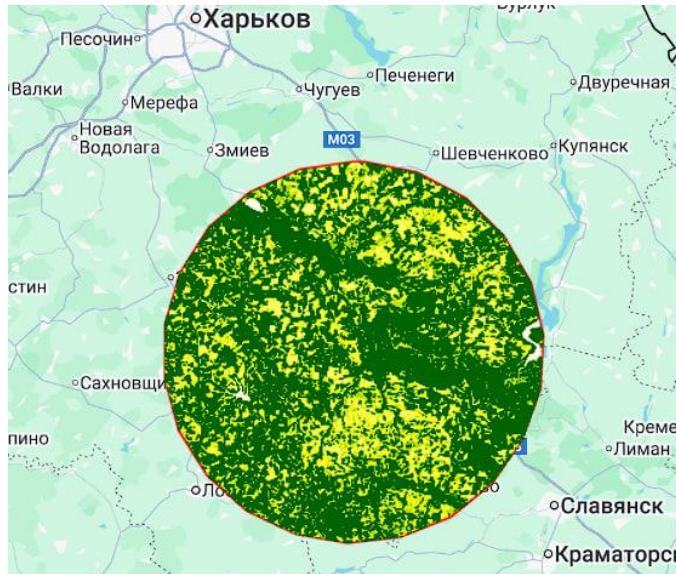


Рис 3. Пробна версія території

На (рис 3) можна побачити як ІШ виділив Ізюмський район. Щоб правильно визначити територію дослідження додамо до GEE векторний шар району та задамо ІШ команду для вписання цього шару до коду.

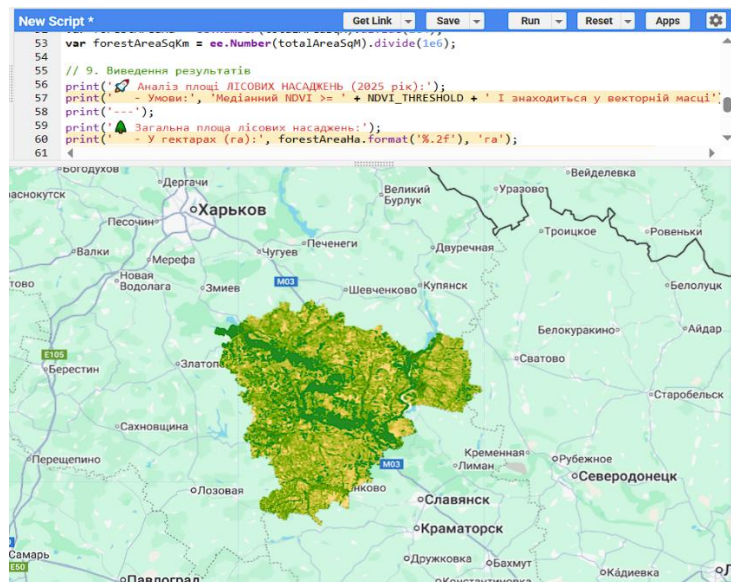


Рис 4. Вигляд GEE після додавання вектора району

На (рис 4) можемо спостерігати виділений Ізюмський район. Тепер код написаний вірно що дає можливість розраховувати площу саме території

дослідження. Також можемо побачити що район виділений різними кольорами, це індекс NDVI.

NDVI - це супутникові зображення які за допомогою кольорової шкали показують стан та кількість рослинного покриву.

Використання індексу NDVI дозволяє проводити ефективний моніторинг стану агроценозів, оцінювати динаміку розвитку рослинного покриву протягом вегетаційного періоду, виявляти стресові ділянки, а також прогнозувати врожайність. Завдяки широкому доступу до супутникових даних (наприклад, із програм Landsat, Sentinel, MODIS) метод NDVI є універсальним інструментом для вирішення різноманітних природно-ресурсних та екологічних завдань[15].

Таблиця 1

Показники індексу NDVI

Колір на знімку	Значення NDVI	Що означає
Коричневий/сірий	< 0.1	Ґрунт, пісок, асфальт, мертва рослинність
Жовтий	0.2–0.4	Розріджена рослинність, ослаблена або стресована
Зелений	0.4–0.6	Нормальна рослинність
Темно зелений	> 0.6	Густа, здорова рослинність

Перший результат не підходить, бо код який написав ІІІ виділив весь рослинний покрив під час вегетації для того, щоб прибрати сільськогосподарські поля робимо наступні кроки. Задаємо команду ІІІ, щоб він написав

3. Додавання останньої версії скрипту що надав ІІІ до GEE

Тепер ми можемо виділити індекс NDVI тільки лісових масивів та лісосмуг, а не так як було на (рис 4).

Дослідження полягає в, тому щоб за допомогою GEE визначити зміну площу в період з 2021 по 2025 роки.

Для кожного супутникового знімка було обчислено індекс NDVI за стандартним рівнянням:

$$(B8-B4)/(B8+B4) \quad (B8 - B4) / (B8 + B4) \quad (B8-B4)/(B8+B4)$$

B8 - значення коефіцієнта відбиття у ближньому інфрачервоному каналі.

B4 - значення коефіцієнта відбиття у червоному каналі видимого спектра.

Це дозволило визначити якість та густоту рослинного покриву. Після розрахунків усі отримані дані об'єднали у медіанний композит, який мінімізує вплив сезонних коливань та випадкових аномалій, забезпечуючи узагальнене річне значення для кожного пікселя. На основі сформованого композиту виконано класифікацію лісових територій шляхом застосування порогового значення NDVI (0.7). Пікселі, що перевищували цей поріг, були віднесені до лісових. За потреби величину порога можна змінювати з урахуванням польових спостережень або особливостей конкретної місцевості.

Чому саме значення NDVI (0.7)? Оскільки завдання полягало у визначенні площі саме лісів то методом підбору було визначено взяти саме (0.7). Наприклад якщо брати значення менша цього індексу програма показувала сільськогосподарські поля у період вегетації.

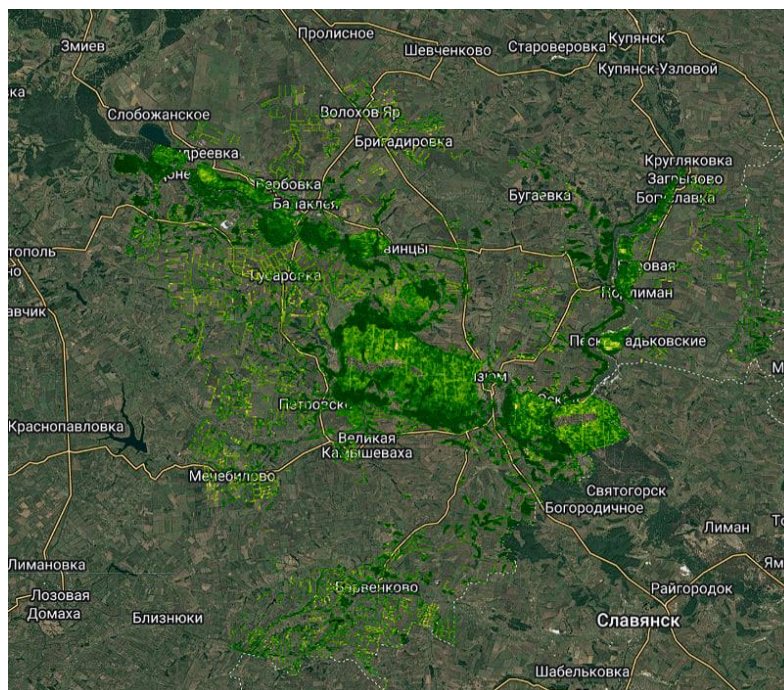


Рис 9. Знімок за 2023 рік

На (рис 9) можемо спостерігати відновлення деяких зон порівняно з 2022 роком. Відновлення площі може свідчити про сприятливіші погодні умови.

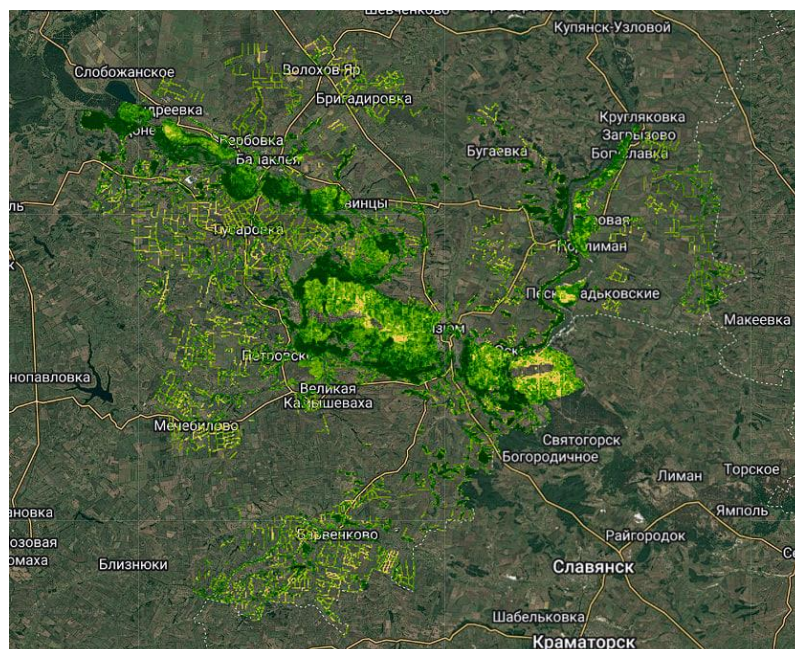


Рис 10. Знімок за 2024 рік

На (рис 10) помітні кардинальні зміни та деградації рослинного покриву. Центральний масив втрачає свою цілісність, з'являються великі ділянки із

За період 2021-2025 років досліджувана площа рослинності скоротилася на 20 587 га, що становить 24,21% від початкової площі.

Ця площа не є точною, а лише приблизною оскільки програма GEE могла десь могла не показати та порахувати всі індекси NDVI та програмне забезпечення overpass-turbo показати не всі полігони з позначкою “ліс”.

3.2 Методичні рекомендації щодо подальшого використання геоінформаційних технологій у дослідженні лісового покриття

У межах даного дослідження було проведено аналіз стану лісового покриття Ізюмського району за допомогою супутникових знімків Sentinel-2, індексу NDVI та інструментарію Google Earth Engine. Отримані результати показали суттєве скорочення лісистості, зокрема після 2022 року, що зумовлює необхідність подальшого вдосконалення методики моніторингу. У цьому контексті важливо інтегрувати у роботу лісогосподарських підприємств та екологічних інспекцій можливості платформ Google Earth Engine або її аналогів, що забезпечує автоматизований, щоквартальний аналіз стану лісів на значних територіях без необхідності фізичного виїзду, що є критично важливим в умовах мінної небезпеки та обмеженого доступу.

З огляду на специфіку території, яка зазнала значних руйнувань унаслідок воєнних дій, геоінформаційні технології мають стати основним інструментом для точного, оперативного та об’єктивного аналізу стану рослинності. Для моніторингу лісових насаджень доцільно використовувати індекс NDVI як індикатор стану рослинності, а для виділення здорової рослинності — застосовувати порогові значення NDVI вище 0.7. У цьому контексті доцільно визначити методичні рекомендації, які враховують уже застосовані інструменти (GEE, Overpass-Turbo, NDVI-маски) та можуть бути використані для покращення подальших досліджень.

Важливою складовою вдосконалення методики є можливість інтеграції в ГІС додаткових наборів даних для аналізу наслідків бойових дій. Проведений аналіз свідчить, що деградація рослинного покриття в 2024–2025 роках

поглибилася, що може бути пов'язано не лише з пожежами чи рубками, а й із вторинними ушкодженнями — ущільненням ґрунтів, зміною гідрологічного режиму, механічними деформаціями рельєфу. До моделі ландшафту слід додати карти вирв, траншей та фортифікацій, дані про деформацію поверхні, а також можливі мінні поля. Векторні шари, що ідентифікують площі втраченої рослинності (зокрема понад 20 тис. га в окремих частинах Ізюмського району), можуть бути інтегровані до матеріалів кримінальних проваджень як первинний доказ обсягу збитків, завданих державі. Це забезпечить можливість встановлення причинно-наслідкових зв'язків між військовими подіями та змінами спектральних характеристик рослинності.

З урахуванням наведеного, впровадження поєднання супутникових даних, Google Earth Engine, індексного аналізу, інструментів Overpass-Turbo та алгоритмів штучного інтелекту формує цілісну, науково обґрунтовану та технологічно ефективну методику дослідження лісових екосистем Ізюмського району. Такий підхід дозволяє значно підвищити оперативність отримання інформації, зменшити вплив людського фактору й забезпечити високий рівень відтворюваності результатів, що є особливо важливим в умовах постконфліктної трансформації ландшафтів.

ВИСНОВКИ

1. Геоінформаційні технології, зокрема використання платформи Google Earth Engine (GEE) та супутникових даних Sentinel-2, довели свою високу ефективність для оперативного аналізу динаміки стану лісового покриття. Застосування спектрального індексу NDVI дозволило об'єктивно оцінити щільність та якість рослинності в умовах значного зовнішнього впливу.
2. Використання NDVI як основного індикатора дозволило об'єктивно оцінити щільність та якість лісового покриття у різні роки, а також виявити чітку тенденцію до деградації екосистеми.
3. У період з 2021 по 2025 рік на досліджуваній території Ізюмського району зафіксовано значне скорочення площі лісової рослинності. Загальні втрати площі рослинності становлять приблизно 20 587 га, що складає понад 24% від початкової площі, що свідчить про масштабні екологічні втрати внаслідок військових дій та пожеж. Найбільш різкі зміни у рослинності спостерігаються у 2024–2025 роках, що пов'язано з активізацією руйнівних факторів, включаючи пожежі та військові дії.
4. Інтеграція платформ Google Earth Engine та Overpass-Turbo забезпечила високу точність геопросторового аналізу, хоча певні похибки залишаються можливими через обмеження супутникових даних та неповноту векторних шарів.
5. У процесі дослідження було продемонстровано можливість та ефективність залучення штучного інтелекту для генерації програмних скриптів (Java) та прискорення процесів обробки геопросторових даних у середовищі GEE

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попков М. Про ключові поняття лісового законодавства України. *Wood Business*. 2002. № 1. с. 18–20.
2. Лісовий кодекс України від 21.01.1994 р. № 3852-XII/ URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/%20show/3852-12#n473>
3. Костицький В.В. Економіко-правові проблеми охорони та використання лісів Українських Карпат. – Івано-Франківськ, 1993. 44 с.
4. Лісовий кодекс України станом на: 28 квітня 2024//Відомості Верховної Ради України. 1994. № 17. Ст. 99
5. В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, К. Ю. Ягорлицька — ГІС-технології в дослідженні ландшафтів.
6. Мельник А. А., Ячнюк М. О. Застосування геоінформаційних технологій для спостереження за лісовим покривом.
7. Загородня С. А. Геоінформаційні технології для екологічної оцінки природно-заповідних територій // *Екологічна безпека та природокористування*. 2016. Вип. 22. С. 87–93.
8. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О. та ін. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Черкаси: ЧДТУ, 2015. 492 с.
9. Доповідь про стан навколишнього середовища природного середовища в Харківській області у 2022 році. Обласна військ. (держ) адмін. департамент зах. довкілля та природокористування, 2022. 159 с
10. Харківська обласна державна адміністрація. Екологічний паспорт Харківської області. 2021.
11. Pine stands of Forest-Steppe zone of Kharkiv Region. *Ukrainian Journal of Forest and Forest Melioration*. 2019.
12. Воронін В. О. Оцінка екосистемних послуг лісових ландшафтів Харківської області: кваліфікаційна робота / дисертація. Харків: Харківський нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2023.

13. Самойлов А. В. Проблеми лісокористування Харківської області. Інвентаризаційні та наукові матеріали, 2020.
14. Google Earth Engine — документація платформи аналізу супутникових даних. URL: <https://earthengine.google.com>
15. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8, № 2. P. 127–150.
16. Overpass Turbo — інструмент для роботи з даними OpenStreetMap. URL: <https://overpass-turbo.eu>
17. Веб-сервіс Sentinel-hub. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>