КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

«Геоінформаційне картографування наслідків пожеж»

Виконав: студент 4 курсу, групи ГІСТ-21

Спеціальності 193

“Геодезія та землеустрій”

Спеціалізації “Геоінформаційні

системи і технології”

Рихлик Богдан Олександрович

Керівник: Плющ Т. М., ст. викладач

Київ - 2025 року

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет Геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра Геінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрям підготовки

(шифр і назва)

Спеціальність 193 "Геодезія та землеустрій"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____проф.,д.т.н. Карпінський Ю. О.

"____" _____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Рихлику Богдану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): **"Геоінформаційне картографування наслідків пожеж"**

керівник проекту (роботи) ст.викладач: Плющ Тетяна Миколаївна

затверджені наказом вищого навчального закладу від "_"_____2025 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи)_____

3. Вихідні дані до проекту (роботи):

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналіз предметної сфери щодо дослідження наслідків природних пожеж.		
3	Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду картографування пожеж та їх наслідків.		
4	Опис вихідних даних.		
5	Опис методики картографування пожеж та їх наслідків.		
6	Концептуальна модель бази геопросторових даних для картографування наслідків пожеж.		
7	Опрацювання вихідних геопросторових даних проекту.		
8	Використання GEE для дослідження наслідків пожеж.		
9	Використання ArcGIS Online для аналізу.		
10	Застосування індексів NBRT та NBR на території України.		
11	Аналіз результатів.		

Студент _____ **Рихлик Б.О.**

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Плющ Т.М.**

(підпис) (прізвище та ініціали)

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

(повне найменування інституту, назва факультету

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

« Геоінформаційне картографування наслідків пожеж »

Виконав: студент 4 курсу, групи ГІСТ-21

Спеціальність 193 “ Геодезія та землеустій”

Рихлик Богдан Олександрович

Керівник: Плющ Тетяна Миколаївна

Київ - 2025 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1. Аналіз методів картографування наслідків пожеж.....

1.1 Аналіз предметної сфери щодо дослідження наслідків природних пожеж.....

1.2 Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду картографування пожеж та їх наслідків.....

1.3 Опис вихідних даних.....

РОЗДІЛ 2. Методика картографування наслідків пожеж.....

2.1 Опис методики картографування пожеж та їх наслідків.....

2.2 Концептуальна модель бази геопросторових даних для картографування наслідків пожеж.....

2.3 Опрацювання вихідних геопросторових даних проекту.....

РОЗДІЛ 3. Дослідна реалізація картографування наслідків пожеж.....

3.1 Використання GEE для дослідження наслідків пожеж.....

3.2 Використання ArcGIS Online для аналізу.....

3.3 Застосування індексів NBRT та NBR на території України.....

3.4 Аналіз результатів.....

ВИСНОВОК.....

ВСТУП

Актуальність теми. Пожежі є одними з найбільших руйнівних природних явищ, які можуть мати серйозні екологічні, соціальні та економічні наслідки. Зважаючи на частоту та інтенсивність пожеж, зокрема в екосистемах, де людська діяльність та зміни клімату суттєво впливають на пожежну безпеку, необхідно ефективно моніторити та аналізувати їх дослідження. Одним із важливих інструментів у цьому процесі є геоінформаційне картографування, яке дозволяє точно і наочно відобразити просторові зміни, викликані пожежами, та їх довгострокові дослідження для навколишнього середовища і людей.

Геоінформаційні системи (ГІС) дають змогу збирати, зберігати, аналізувати та візуалізувати просторову інформацію, що особливо корисно для оцінки пошкоджень від пожежі. Вони можуть забезпечити даними, які допомагають вирішити межі поширення вогню, типи постраждалих територій, оцінити рівень шкоди та спрогнозувати подальші ризики для екосистеми та людей. Крім того, картографування наслідків пожежі є інструментом для планування заходів з відновлення, моніторингу та запобігання надзвичайним ситуаціям у майбутньому.

Метою даної дипломної роботи є дослідження методів геоінформаційного картографування наслідків пожеж за допомогою сучасних ГІС-технологій, а також розробка практичних рекомендацій щодо їх використання для моніторингу та оцінки пожежних катастроф.

Об'єкт дослідження: природні пожежі та їх наслідки.

Предмет дослідження: методи та інструменти геоінформаційного картографування пожеж та аналізу їх наслідків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КАРТОГРАФУВАННЯ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ

1.1 Аналіз предметної сфери щодо дослідження наслідків природних пожеж.

Природні пожежі є одним з найбільш небезпечних та руйнівних явищ у середовищі, яке суттєво впливає як на природні екосистеми, так і на соціально-економічну сферу. Їхнє походження може бути як природного, так і техногенного чи антропогенного характеру. Часто пожежі мають повторюваний характер на одних і тих самих територіях, особливо в умовах змін клімату та інтенсивного втручання людини в екосистеми наукової точки зору, пожежі відносяться до екзогенних локально-катастрофічних чинників. Їх вплив є багатоаспектним:

- Знищення біогеоценозів — вогонь випалює великі площі природної рослинності, порушуючи екологічну рівновагу;
- Викиди в атмосферу — утворення значних об’ємів сажі, золи, вуглецю та токсичних канцерогенних речовин;
- Погіршення якості повітря та ґрунту — особливо небезпечно в умовах вітряної погоди, коли продукти горіння поширюються на великі відстані;
- Втрати для біорізноманіття — загибель флори й фауни, зокрема ендемічних видів, руйнування середовищ існування.
- Негативні соціально-економічні наслідки — шкода майну, сільському господарству, ризики для життя людей.

Найбільш серйозні екологічні загрози становлять лісові пожежі, оскільки вони охоплюють великі площі, складно піддаються контролю, і можуть впливати на регіональні кліматичні умови. Особливо гостро ця проблема постає в умовах

глобального потепління, яке сприяє зменшенню вологості, збільшенню температури та, як наслідок, підвищенню частоти загорянь.

В Україні зростання масштабів лісових пожеж фіксується з особливою інтенсивністю з початку 2000-х років, особливо в східних, південних та центральних регіонах.

Геоінформаційний аспект вивчення пожеж

З позиції геоінформатики, пожежі вивчаються через аналіз:

- Активних вогнищ горіння (активна фаза пожежі);
- Уражених територій (навіть після припинення горіння).

Класичні методи детектування активних осередків, наприклад, з використанням теплових інфрачервоних каналів супутників (VIIRS, MODIS), є надзвичайно важливими для оперативного моніторингу. Однак вони мають істотні обмеження:

- Супутник не завжди знаходиться над територією пожежі в потрібний момент;
- Погодні умови (особливо хмарність) можуть ускладнити виявлення пожежі;
- Неможливо повністю оцінити площу ураження за короткий часовий відрізок.

Саме тому значну увагу слід приділяти аналізу наслідків пожежі, що включає:

- Постфактум аналіз змін у рослинному покриві;
- Оцінку зниження біомаси та продуктивності екосистем;
- Створення карт зон ураження;
- Визначення типу пошкоджених територій (ліс, сільгоспугіддя, забудова тощо).

Актуальність для України.

В Україні щорічно реєструється сотні лісових пожеж, які часто виникають через антропогенний фактор (підпали, недбалість, спалювання стерні тощо). Масштабні пожежі завдають значної шкоди:

- Природним заповідникам — знищуються унікальні лісові масиви, зникають ендемічні породи дерев;
- Біоті — втрачаються середовища існування для багатьох видів тварин;
- Ґрунтам — деградація, ерозія, втрата гумусу;

- Клімату — зменшення лісистості призводить до зниження здатності екосистем поглинати вуглекислий газ.

Наявність просторових закономірностей у виникненні пожеж дає підстави для створення прогнозних карт і моделей, що можуть допомогти у попередженні та мінімізації наслідків пожеж у майбутньому.

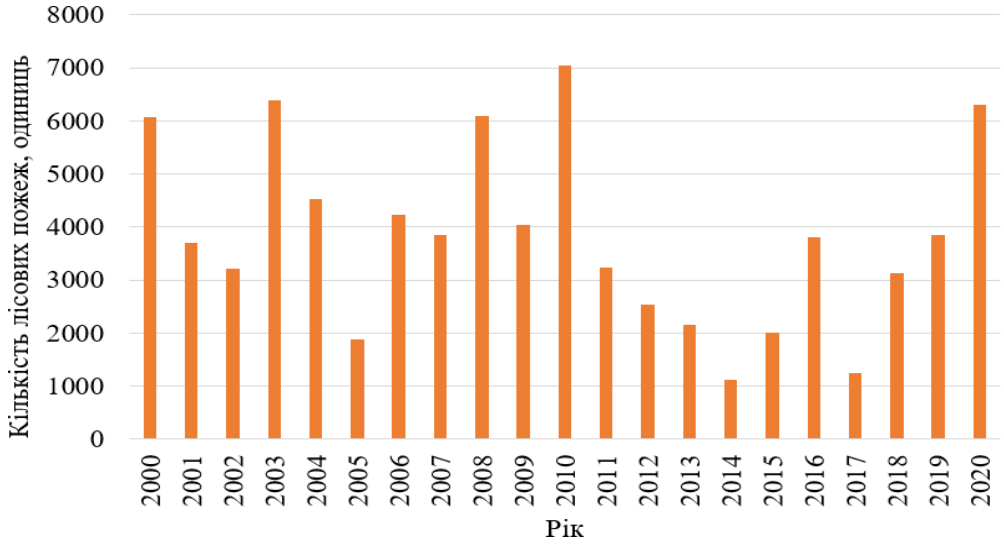


Рис 1.1 Кількість лісових пожеж за 20 років.

Антропогенний фактор визнається головною причиною пожеж, які відбуваються в лісових екосистемах. Невисокий рівень опадів та постійно зростаюча температура сприяють підвищенню ймовірності загоряння та є каталізаторами швидкості розповсюдження пожежі.[1]

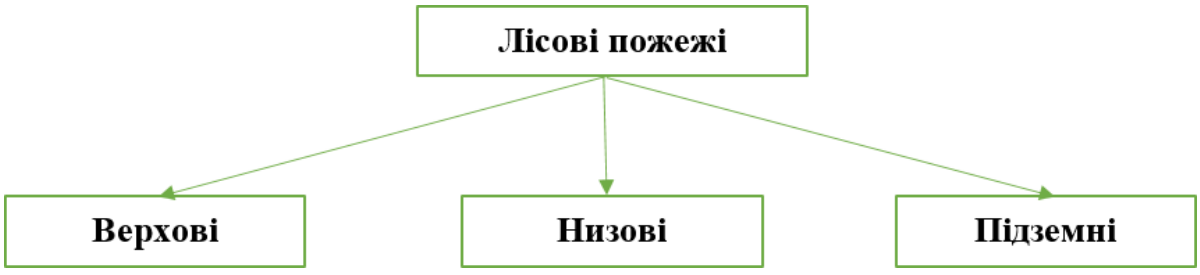


Рис. 1.2 Види лісових пожеж

В свою чергу пожежі поділяються на:

- низові (надгрунтові, підстилково-гумусові, підлісно-кущові та пенькові);
- верхові (вершинні, повальні та стволові);
-підземні (торф'яні).

Детальне вивчення даних про природу пожеж дійшло висновку про існування п'яти груп закономірностей в виникненні і розвитку пожеж, які необхідно враховувати при створенні їх прогнозної моделі :

1. Географічні закономірності в виникненні лісових пожеж, які відносяться до суворо визначеного клімату та зонам лісової рослинності.
2. Кліматичні закономірності, що виражені спалахами лісових пожеж в періодично повторювані роки засухи.
3. Сезонні закономірності, що зумовлені особливостями клімату та зміною фенофаз розвитку рослинності, які проявляються в щорічному повторі, характерному для кожної місцевості, розподілу пожеж за періодами пожежобезпечного сезону та в одноманітній зміні характеру пожеж за цими періодами.
4. Періодичні закономірності, зумовлені зміною погоди за природними синоптичними періодами і виражаються в періодичному зростанні чи спаданні умов, які сприяють виникненню та розвитку пожеж.
5. Добові закономірності, які складаються зі зміни метеорологічної обстановки протягом доби і пов'язуються з виникненням та інтенсифікацією пожеж в визначений час доби.

З 1972 р. в Україні прийнято 5 класів шкали пожежної небезпеки за погодними умовами залежно від метеорологічного показника Несторова:

- клас I – до 300 – відсутність пожежної небезпеки;
- клас II – 301-1000 – мала пожежна небезпека;
- клас III – 1001-4000 – середня пожежна небезпека;
- клас IV – 4001-10000 – висока пожежна небезпека;
- клас V – понад 10000 – надзвичайна пожежна небезпека.[2]

Спостереження за станом лісів в пожежонебезпечний період аб о безпосередньо в період пожеж є ефективним на базі космічних знімків.

1.2 Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду картографування пожеж та їх наслідків.

Міжнародний досвід демонструє широкий спектр підходів до використання інформаційних технологій у лісовому господарстві, включаючи географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі, моделювання динаміки лісових екосистем, автоматизовані системи управління лісовими ресурсами та цифрову трансформацію облікових процесів. Успішне застосування таких технологій у країнах із різним рівнем економічного розвитку та кадрового потенціалу створює основу для обміну знаннями та адаптації найкращих практик до місцевих умов.

У деяких регіонах виявлення та визначення дальності за допомогою повітряного світла (LiDAR), а також цифрова аерофотограмметрія (DAP) стали незамінними технологіями для картографування структури лісу та ключовою допоміжною інформацією для покращення оцінок лісових атрибутів, що надаються інвентаризацією лісів. Оптичні супутники з точною просторовою роздільною здатністю, деякі з яких працюють у сузір'ях кількох мікросупутників,надають просторово деталізовані дані з високим часовим переглядом, який може дедалі більше відповідати інформаційним вимогам, пов'язаним із реагуванням на надзвичайні ситуації або події порушення. Окрім цих традиційних застосувань дистанційного зондування, з'явилися нові технології та платформи, включаючи дрони та безпосереднє зондування, таке як наземне та мобільне лазерне сканування і датчики, пов'язані з розумними пристроями, швидко еволюціонували. Ці технології сприяють розробці нових додатків та інноваційних підходів, придатних для оцінки різноманітного спектру лісових атрибутів у полі.

Одна з наймасштабніших міжнародних ініціатив — GWIS (Global Wildfire

Information System). Це спільний проєкт GEO та Copernicus, який об'єднує дані з національних, регіональних та глобальних джерел для моніторингу пожеж у всьому світі.

Глобальна інформаційна система про лісові пожежі (GWIS) є спільною ініціативою GEO та робочих програм Copernicus. У робочій програмі GEO GWIS на 2023-2025 роки GWIS має на меті об'єднати існуючі джерела інформації на регіональному та національному рівнях, щоб забезпечити всебічний огляд та оцінку режимів пожеж та їхніх наслідків на глобальному рівні; пожежі, відображені в GWIS, можуть включати пожежі, навмисно розпалені з метою управління рослинністю. Крім того, GWIS надає інструменти для підтримки оперативного управління лісовими пожежами від національного до глобального рівнів.

GWIS базується на поточній діяльності Європейської інформаційної системи про лісові пожежі (EFFIS), Глобальної системи наземних спостережень (GTOS) – Глобальне спостереження за лісовим покривом – Глобальне спостереження за динамікою земель (GOFC-GOLD) – Групи з впровадження протипожежних заходів (GOFC Fire IT) та пов'язаних з ними регіональних мереж, доповнюючи існуючу діяльність, яка здійснюється у всьому світі щодо збору інформації про лісові пожежі. Розробка GWIS підтримується організаціями-партнерами та космічними агентствами, а її основне фінансування забезпечується Європейською Комісією. Підтримку GWIS надавало NASA через свою діяльність GEO-GWIS у рамках програми ROSES[11].

Наразі GWIS складається з п'яти застосунків:

Current Situation Viewer - ця програма надає інформацію майже в режимі реального часу про: прогноз пожежної небезпеки до 10 днів наперед на основі Канадського індексу пожежної погоди (FWI), виникнення блискавок, Активні виявлення пожеж від датчиків NASA MODIS та VIIRS, Периметри площі вигорання майже в режимі реального часу, отримані від MODIS та VIIRS,

Викиди пожеж від служби Copernicus CAM;

Current Statistics Portal - статистика надається на національному рівні та для регіонів, що становлять інтерес, таких як «Бразильська правова Амазонка» та Програма моніторингу та оцінки Арктики (AMAP);

Country profile - ця програма надає історичний огляд режимів пожеж на рівні країн та субкраїн за період 2002-2019 років. Вона містить карти річних/місячних площ пожеж, частоти площ пожеж та сезонності площ пожеж;

Long-term fire weather forecast - щомісячний та сезонний прогноз аномалій температури та кількості опадів, які очікуються по всьому світу;

Data and Services - ця програма надає доступ до даних, що використовуються в програмах GWIS. Дані з *Current Situation Viewer* надаються у формі веб-сервісів карт (WMS).

Європейська інформаційна система про лісові пожежі (EFFIS) підтримує служби, відповідальні за захист лісів від пожеж у ЄС та сусідніх країнах, і надає службам Європейської Комісії та Європейському Парламенту оновлену та надійну інформацію про лісові пожежі в Європі. Пожежі, відображені в EFFIS, можуть включати пожежі, навмисно розпалені з метою управління рослинністю. З 1998 року EFFIS підтримується мережею експертів з різних країн, яка називається Експертною групою з лісових пожеж і зареєстрована при Генеральному секретаріаті Європейської Комісії. Наразі ця група складається з експертів із 43 країн Європи, Близького Сходу та Північної Африки. У 2015 році EFFIS стала одним із компонентів Служби управління надзвичайними ситуаціями в рамках програми ЄС Copernicus.

Через EFFIS доступна низка спеціальних застосунків:

Current Situation Viewer - найактуальніша інформація про поточний пожежний сезон у Європі та Середземномор'ї. Вона включає метеорологічні

карти пожежної небезпеки на сьогодні та прогноз на строк до 6 днів, щоденно оновлювані карти осередків пожеж та периметрів;

Current Statistics Portal - Статистика надається на національному рівні, а також для 3 груп країн: ЄС, європейських країн, що не входять до ЄС, та країн Близького Сходу та Північної Африки;

Fire news це застосунок, який збирає, геолокує та зберігає в базі даних новини про пожежі, опубліковані в Інтернеті всіма мовами ЄС та іншими мовами, дозволяючи користувачеві фільтрувати новини на основі географічного охоплення, ключових слів тощо;

Long-term fire weather forecast - щомісячний та сезонний прогноз аномалій температури та опадів, які очікуються в європейських та середземноморських районах;

Wildfire Risk Viewer - індекс ризику лісових пожеж за загальноєвропейським масштабом. Він включає дві основні групи компонентів, враховуючи пожежну небезпеку (або ризик) та вразливість за трьома категоріями: люди, екологічні та економічні цінності, що знаходяться у вразливих районах;
Data Request Form - Запит даних, які не доступні безпосередньо через веб-сервіси EFFIS;

Data and services - загальні показники по країнах (площа вигоряння та кількість пожеж) на рік, опубліковані у звітах «Лісові пожежі в Європі, Північній Африці та на Близькому Сході».

Таким чином, аналіз сучасних міжнародних систем моніторингу та реагування на лісові пожежі демонструє високий рівень інтеграції геоінформаційних технологій у практичне управління ризиками. Досвід таких систем, як GWIS та EFFIS, може бути використаний як основа для формування адаптованих до українських реалій інформаційних платформ, здатних підтримувати прийняття рішень у сфері природоохоронної політики.

Попри беззаперечну ефективність міжнародних систем, таких як GWIS та EFFIS, існують певні обмеження в їх застосуванні на локальному рівні:

- недостатня деталізація для малих масштабів (наприклад, локальні пожежі у межах ОТГ);
- обмежений доступ до комерційних супутників із надвисокою роздільністю;
- затримка в оновленні деяких аналітичних модулів (особливо щодо валідації даних наземними спостереженнями).

Це свідчить про необхідність створення гібридних систем, які об’єднують глобальні дані з локальними джерелами — включаючи БПЛА (дрони), мобільні додатки, інтеграцію з національними реєстрами лісів та земель.

1.3 Опис вихідних даних.

Для виконання роботи в Google Earth Engine я використовував колекції знімків які є в відкритому доступі, це такі як:

VNP09GA: VIIRS Surface Reflectance Daily 500m and 1km [8].

Продукт Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) щоденного відбиття поверхні (VNP09GA) забезпечує оцінку відбиття земної поверхні від датчика VIIRS Suomi National Polar-Orbiting Partnership (S-NPP). Дані надаються для трьох каналів зображень (I1, I2, I3) з номінальною роздільною здатністю 500 метрів (~463 метри) та дев’яти смуг помірної роздільної здатності (M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8, M10, M11) з номінальною роздільною здатністю 1 кілометр (~926 метрів). Набори даних на 500 метрів і 1 кілометр отримано шляхом повторної дискретизації рідної роздільної здатності VIIRS 375 метрів і 750 метрів відповідно у вхідному продукті L2. Ці смуги коригуються з урахуванням атмосферних умов, щоб забезпечити оцінку спектрального відбивання поверхні, яке було б виміряно на рівні землі.

Дані тимчасово агрегуються для кожного з 16 можливих проходів на день. Якщо для кожного дня є кілька спостережень, включається лише перше з найякісніших спостережень. Масштабні коефіцієнти смуги вже застосовано.

USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1[9].

Цей набір даних містить атмосферно скоригований коефіцієнт відбиття поверхні та температуру поверхні землі, отримані з даних, отриманих датчиками Landsat 8 OLI/TIRS. Ці зображення містять 5 видимих і ближніх інфрачервоних (VNIR) смуг і 2 короткохвильових інфрачервоних (SWIR) смуги, оброблені до орто- випрямленої поверхневої відбиття, і одну теплову інфрачервону (TIR) смугу, оброблену до орто-випрямленої температури поверхні. Вони також містять проміжні смуги, які використовуються для розрахунку продуктів ST, а також смуги QA.

Продукти Landsat 8 SR створено відповідно до коду відбиття поверхні землі (LaSRC). Усі продукти Collection 2 ST створені за одноканальним алгоритмом, створеним спільно Рочестерським технологічним інститутом (RIT) і Лабораторією реактивного руху (JPL) Національного управління з аеронавтики та дослідження космічного простору (NASA).

Смужки зібраних даних упаковуються в "сцени", що перекриваються, охоплюючи приблизно 170 км x 183 км, використовуючи стандартизовану опорну сітку.

Деякі активи містять лише дані SR, у цьому випадку смуги ST присутні, але порожні. Для активів із діапазонами ST і SR параметр «PROCESSING_LEVEL» має значення «L2SP». Для активів лише з діапазонами SR параметр «PROCESSING_LEVEL» має значення «L2SR».

Dynamic World V1 [10]

Dynamic World – це 10-метровий набір даних землекористування/землепокриву (LULC) у майже реальному часі (NRT), який включає ймовірності класів та інформацію про мітки для дев’яти класів.

Прогнози Dynamic World доступні для колекції Sentinel-2 L1C з 27 червня 2015 року по теперішній час. Частота повторного відвідування Sentinel-2 становить 2-5 днів залежно від широти. Прогнози Dynamic World генеруються для зображень Sentinel-2 L1C із CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE <= 35%.

Прогнози маскуються для видалення хмар і тіней від хмар за допомогою комбінації S2 Cloud Probability, Cloud Displacement Index і Directional Distance Transform.

Зображення в колекції Dynamic World мають назви, що відповідають іменам окремих активів Sentinel-2 L1C, з яких вони були отримані, наприклад:

ee.Image('COPERNICUS/S2/20160711T084022_20160711T084751_T35PKT')

має відповідне зображення Dynamic World під назвою: ee.Image('GOOGLE/DYNAMICWORLD/V1/20160711T084022_20160711T084751_T35PKT').

Усі смуги ймовірностей, окрім смуги «міток», разом дорівнюють 1.

Враховуючи, що оцінки класу Dynamic World отримані з окремих зображень із використанням просторового контексту з маленького рухомого вікна, «імовірності» першої першої категорії для прогнозованого ґрунтового покриву, який частково визначається покривом з часом, як сільськогосподарські культури, можуть бути порівняно низькими за відсутності очевидних відмінних ознак. Поверхні з високою віддачею в посушливому кліматі, пісок, сонячне світло тощо також можуть проявляти це явище.

Щоб вибрати лише ті пікселі, які впевнено належать до класу Dynamic World, рекомендується маскувати вихідні дані Dynamic World, обмежуючи порогове значення оціненої «ймовірності» першого прогнозу.

Також для виконання роботи в ArcGis Online я використовував такі шари:

USA Current Wildfires

На цьому шарі представлено найвідоміші точки та периметри лісових пожеж у Сполучених Штатах за останні 7 днів. Точки позначають місце в зоні лісової пожежі та надають поточну інформацію про цю лісову пожежу.

Периметри – це лінія, що оточує землю, яка постраждала від лісової пожежі.

Поточні інциденти: цей рівень майже в режимі реального часу забезпечує перегляд даних, які передаються через службу Integrated Reporting of Wildland-Fire Information (IRWIN). IRWIN надає можливості обміну даними між залученими системами лісових пожеж, включаючи федеральні, державні та місцеві установи. Дані синхронізуються між організаціями-учасниками, щоб забезпечити доступ до найновішої інформації. Відображення балів базується на класифікації розміру пожежі NWCG, застосованій до атрибута щоденних акров.

Поточні периметри: цей шар відображає периметри пожежі, опубліковані в Національній службі аналізу інцидентів. Він оновлюється на основі оперативних даних і може не відображати поточні умови на місці.

Wildfire Hazard Potential, Version 2020 Classified

Цей набір даних є потенційною небезпекою лісових пожеж (WHP), версія 2020, класифікованою на 5 класів: дуже низький, низький, помірний, високий і дуже високий. Він призначений для використання в стратегічних видах палива в дикій місцевості та плануванні землеустрою в широкому масштабі.

Потенціал небезпеки лісової пожежі (WHP) — це індекс, який описує відносний потенціал лісової пожежі, який було б важко стримати ресурсами для гасіння, на основі імітаційного моделювання лісової пожежі. Цей набір даних, створений Лісовою службою Міністерства сільського господарства США, Інститутом моделювання пожеж у 2020 році, показує WHP із просторовою роздільною здатністю 270 метрів на всій суміжній території Сполучених Штатів, класифікований за п’ятьма класами WHP: дуже низький, низький, помірний, високий і дуже високий. Області, нанесені на карту з більш високими значеннями WHP, представляють види палива з вищою ймовірністю зазнати підпалів, загорянь та інших форм екстремальної поведінки вогню за сприятливих погодних умов, на основі переважно ландшафтних умов 2014 року.

Цей набір даних WHP базується на результатах імітаційного моделювання

лісових пожеж, опублікованих у 2020 році.

Починаючи з версії 2020 року, набір данихWHP інтегровано з проектом Wildfire Risk to Communities. Набір даних 2020 року є першою версією, що включає Аляску та Гаваї. Існує просторово уточнена версія WHP із роздільною здатністю 30 метрів як частина даних про ризик лісових пожеж для громад, які можна завантажити, а також пов'язані набори даних, які відображають інші компоненти небезпеки лісової пожежі та ризику для будинків. Незважаючи на високий рівень розвитку інфраструктури супутникового моніторингу в межах програм GWIS та EFFIS, в Україні існує потреба у створенні локалізованих систем оцінки наслідків пожеж з урахуванням кліматичних, природних та соціальних особливостей. Застосування передових міжнародних практик потребує адаптації:

– до наявних технічних потужностей,

– до обмеженого доступу до комерційних супутникових знімків,

– до специфіки українського лісового господарства.

У цьому контексті доцільним є використання відкритих платформ (Google Earth Engine), супутників середньої роздільності (Landsat, Sentinel-2) та локальних геоданих у поєднанні з сучасними аналітичними методами[14].

Аналіз наукових публікацій останніх років (Scopus, Web of Science, 2020–2024) показує, що основні тренди у дослідженнях пожеж фокусуються на:

- машинному навчанні для прогнозування пожежного ризику;
- автоматичній класифікації типів вегетації до і після пожеж;
- створенні «гарячих карт» для управління силами реагування;
- моделюванні відновлення лісів після масштабних пожеж.

Це свідчить про актуальність поєднання ГІС-аналізу, обробки супутникових даних та автоматизованих інструментів прогнозування, що й було реалізовано у даному дослідженні.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА КАРТОГРАФУВАНЬ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ

2.1 Опис методики картографування пожеж та їх наслідків.

З огляду на проаналізовані міжнародні практики (розділ 1.2), у цьому дослідженні було обрано підхід, що поєднує переваги відкритих супутникових даних, хмарного обчислення (GEE) та інтеграції з ГІС-сервісами (ArcGIS Online). Такий підхід дозволяє виконувати якісний просторовий аналіз навіть за обмежених локальних ресурсів.

Методика ґрунтується на використанні геоінформаційних систем (ГІС), супутникових знімків та індексного аналізу, що дозволяє виявляти, візуалізувати та кількісно оцінювати наслідки природних пожеж. Основними етапами методики є:

Вибір платформи та програмного середовища Для реалізації дослідження були обрані:

- Google Earth Engine (GEE) — хмарна платформа для обробки супутникових зображень;
- ArcGIS Online — інструмент для візуалізації та інтеграції результатів. Вибір та підготовка вихідних даних

У якості вихідних джерел були використані відкриті супутникові продукти:

- VIIRS (VNP09GA) — для виявлення активних осередків пожеж;
- Landsat 8/9 SR — для аналізу змін у рослинному покриві до та після пожеж;
- Dynamic World V1 — для детальної класифікації землекористування. Просторова локалізація дослідження

Визначення області дослідження (ROI) та її оптимізація за допомогою функції simplify() дозволило покращити обчислювальну ефективність при роботі з полігональними об’єктами.

Детекція активних пожеж

Аналіз знімків VIIRS з інфрачервоних каналів (I1, I2) дозволив виявити ділянки з підвищеним тепловим випромінюванням, які відповідають активним пожежам.

Аналіз наслідків пожеж

Виконувалося порівняння стану території до та після пожежі за допомогою наступних індексів:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

- Дозволяє оцінити стан рослинності;
- Значне зменшення NDVI після пожеж свідчить про деградацію рослинного покриву;
- Обчислювались гістограми NDVI та карта змін NDVI (ndvi_change).

NBR (Normalized Burn Ratio):

- Оцінка вигорілих територій;
- Застосовується для виявлення меж пошкодження.

NBRT (Normalized Burn Ratio Thermal):

- Враховує теплові канали для реєстрації активних фаз пожеж;

Використовується під час пожеж або невдовзі після них. Картографування змін

Зміни індексів були візуалізовані у вигляді:

- Карт NDVI change, NBR change, NBRT change;
- Гістограм для порівняльного аналізу;
- Тематичних шарів у ArcGIS Online (включно з даними про пожежі, забудову, ризики).

Кількісний аналіз

Площа вигорілих територій оцінювалася за допомогою:

- Побудови бінарної маски на основі NDVI change;
- Обчислення площі з використанням функції pixelArea().

Інтерпретація результатів

- Просторі межі пожежі визначені з високою точністю;
- Ідентифіковані зони з повною або частковою втратою біомаси;
- Результати інтегровані в ГІС для подальшого використання у відновленні екосистем, плануванні лісовідновлення та запобіганні надзвичайним ситуаціям.

2.2 Концептуальна модель бази геопросторових даних для картографування наслідків пожеж.

Мета моделі:

Забезпечити комплексне представлення просторових, атрибутивних та часових даних, пов’язаних із пожежами, у єдиній базі геопросторових даних, придатній для аналітики, візуалізації та прогнозування.

Основні компоненти концептуальної моделі

№	Клас об'єкта	Тип геооб’єкта	Опис
1	Осередки пожежі	Точка / полігон	Локація зафіксованого горіння (на основі VIIRS / MODIS)
2	Зона ураження	Полігон	Область, охоплена вогнем або термічним ураженням (вираховується за NDVI/NBR)
3	Індекси стану рослинності	Растрові дані	NDVI, NBR, NBRT до/після пожежі
4	Землекористування / землепокрив	Полігон	Дані з Dynamic World або CORINE (класифікація поверхні)
5	Будівлі та інфраструктура	Точка / полігон	Дані про забудову, які дозволяють оцінити вплив на людей
6	Метеодані	Табличні / точкові	Температура, вологість, вітер у день пожежі

7	Результати аналізу	Полігон / растри	Карти змін, маски зон ураження, статистика площ

Основні зв’язки між об’єктами

- Осередки пожеж → утворюють → Зони ураження
- Зони ураження → перетинаються з → Землекористування / будівлями
- NDVI / NBR → обчислюються для → Зон до та після пожежі
- Зони ураження → характеризуються → Атрибутивною інформацією: площа, індекси, дата, інтенсивність
- Зони ураження → пов’язані з → Метеоданими за відповідний період

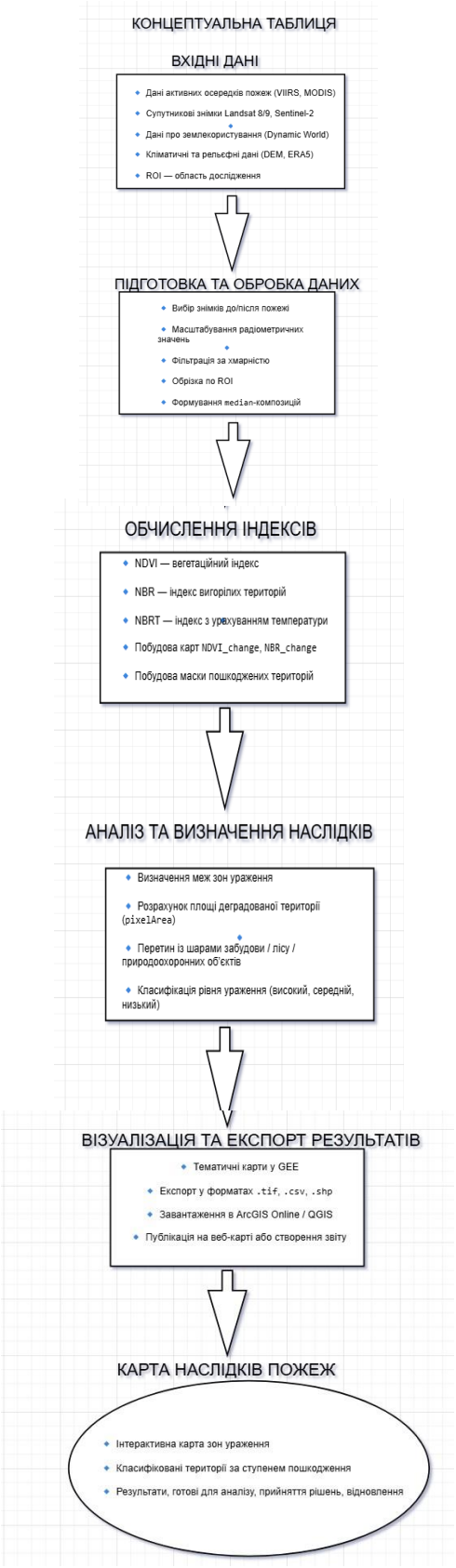
Джерела даних та їх типи

Джерело	Тип	Призначення
Google Earth Engine	Супутникові знімки	NDVI, NBR, NBRT, маски змін
Dynamic World / CORINE / OpenStreetMap	Векторні шари	Землекористування, забудова
IRWIN / NASA FIRMS	Пожежні точки	Активні осередки горіння
Метеостанції / NOAA	Табличні / точкові	Погодні умови
OpenBuildings / Microsoft	Полігони будівель	Аналіз ризику для інфраструктури

Застосування концептуальної моделі

Модель використовується для:

- автоматизованої обробки даних в GEE;
- побудови тематичних карт у ArcGIS Online;
- обчислення індексів і площ ураження;
- інтеграції різних джерел для прийняття рішень;
- аналізу впливу пожеж на людей, екосистеми та інфраструкту.


КОНЦЕПТУАЛЬНА ТАБЛИЦЯ
ВХІДНІ ДАНІ
Дані активних осередків пожеж (VIIRS, MODIS)
Супутникові знімки Landsat 8/9, Sentinel-2
Дані про землекористування (Dynamic World)
Кліматичні та рельєфні дані (DEM, ERA5)
ROI — область дослідження
ПІДГОТОВКА ТА ОБРОБКА ДАНИХ
Вибір знімків до/після пожежі
Масштабування радіометричних значень
Фільтрація за хмарністю
Обрізка по ROI
Формування median-композицій
ОБЧИСЛЕННЯ ІНДЕКСІВ
NDVI — вегетаційний індекс
NBR — індекс вигорілих територій
NBRT — індекс з урахуванням температури
Побудова карт NDVI_change, NBR_change
Побудова маски пошкоджених територій
АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ
Визначення меж зон ураження
Розрахунок площі деградованої території (pixelArea)
Перетин із шарами забудови / лісу / природоохоронних об'єктів
Класифікація рівня ураження (високий, середній, низький)
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПОРТ РЕЗУЛЬТАТІВ
Тематичні карти у GEE
Експорт у форматах .tif, .csv, .shp
Завантаження в ArcGIS Online / QGIS
Публікація на веб-карті або створення звіту
КАРТА НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ
Інтерактивна карта зон ураження
Класифіковані території за ступенем пошкодження
Результати, готові для аналізу, прийняття рішень, відновлення

2.3 Опрацювання вихідних геопросторових даних проекту

Опрацювання геопросторових даних є одним з ключових етапів реалізації геоінформаційного картографування наслідків пожеж. Від якості, точності, просторової та часової узгодженості вхідних даних залежить успішність розрахунків індексів деградації рослинності, формування зон ураження, створення карт та оцінка ризиків.

У даному проекті опрацювання геоданих здійснювалося у кілька послідовних етапів, які включали вибір відповідних джерел, підготовку полігонів спостереження, фільтрацію супутникових знімків, нормалізацію спектральних значень, обробку тематичних шарів землекористування та інтеграцію даних в єдину аналітичну систему.

Обґрунтування вибору джерел геоданих.

Проект базується на використанні відкритих супутникових зображень та просторових шарів із високою частотою оновлення і точністю. Основними критеріями для відбору джерел стали:

- відкритість та надійність даних;
- наявність історичної ретроспективи (для аналізу "до / після");
- просторове покриття території України;
- можливість інтеграції в Google Earth Engine та ArcGIS Online;
- наявність метаданих та масштабувальних коефіцієнтів.

Завантаження і підготовка знімків у Google Earth Engine

Визначення регіону дослідження (ROI).

Області дослідження (Region of Interest, ROI) були попередньо сформовані у вигляді полігонів у форматі GeoJSON. Ці полігони позначають конкретні території, на яких зафіксовано масштабні пожежі. Полігони були імпортовані в Google Earth Engine та оптимізовані за допомогою функції simplify() для підвищення швидкості обробки великих геометричних об’єктів.

```
var roi = table.map(function(feature) {
  return feature.simplify(10000); // зменшення кількості точок
});
```

Центрування карти на ROI дозволяє одразу візуалізувати цільову область:

```
Map.centerObject(roi);
Map.addLayer(roi);
```

Вибір знімків "до" і "після" пожежі

Для визначення впливу пожежі були обрані періоди:

До пожежі: з 1 жовтня 2016 до 31 жовтня 2017 року

Після пожежі: з 1 жовтня 2018 до 31 жовтня 2019 року

Це дозволяє уникнути сезонного зміщення рослинного покриву та забезпечити коректність порівняння NDVI/NBR індексів.

Застосовано фільтр за хмарністю для покращення якості даних:

```
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 35);
```

Масштабування та корекція спектральних даних

Супутникові знімки Landsat містять значення відбиття у сирому вигляді. Для правильного розрахунку індексів значення були відмасштабовані з урахуванням коефіцієнтів, що зберігаються у метаданих знімків:

```
var gain = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_5'));
var offset = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_5'));
var sr = img.multiply(gain).add(offset);
```

Цей крок є обов’язковим для забезпечення фізично коректного розрахунку NDVI, NBR, NBRT.

Інтеграція даних про землекористування

Для класифікації типів поверхні (ліс, поле, забудова тощо) застосовано набір Dynamic World, побудований на основі знімків Sentinel-2. Він забезпечує високу просторову деталізацію (10 м) та оперативність.

```
var mask = dynamic.select('label').eq(classCode)
.and(dynamic.select('confidence').gt(0.8));
```

Було обмежено класи до найвірогідніших (наприклад, ймовірність > 0.8):

```
var mask = dynamic.select('label').eq(classCode)
.and(dynamic.select('confidence').gt(0.8));
```

Це дозволило точно відобразити тип землекористування на момент до/після пожежі.

Завантаження векторних тематичних шарів (ArcGIS Online)

У середовищі ArcGIS Online були використані офіційні тематичні шари:

- USA Current Wildfires — для прикладу синхронізації в реальному часі;
- Wildfire Hazard Potential 2020 — для візуалізації загроз;
- Building footprints — шари забудови для оцінки ризику впливу на населені пункти.

Кожен шар містить атрибути, які дозволили аналізувати близькість до меж пожежі, тип забудови та потенційний ступінь загрози.

Побудова растрових карт-основ

На основі попередньо оброблених знімків були побудовані:

- зображення RGB-композицій (ближній ІЧ – червоний – зелений);
- середні зображення для обраних періодів (median());
- мапи NDVI, NBR, NBRT до та після пожежі;

- маски змін (NDVI_change, NBR_change).

Це дозволило побачити як локальні, так і масштабні наслідки пожежі у різних екосистемах.

Узгодження систем координат

Усі вхідні векторні та растрові дані були приведені до єдиної системи координат — WGS 84 (EPSG:4326). Це забезпечило узгодженість між джерелами, коректне суміщення шарів у GEE, ArcGIS та при подальшому експорті до QGIS.

Резервне збереження даних

Фінальні маски, карти індексів, межі пожеж та таблиці були експортовані з GEE у форматі .tif для візуалізації в QGIS, та .csv — для табличного аналізу:

```
Export.image.toDrive({
  image: finalLayer,
  description: 'ndvi_change_export',
  scale: 100,
  crs: 'EPSG:4326',
  region: geometry2
});
```

Опрацювання вихідних геопросторових даних охоплювало повний цикл: від відбору супутникових знімків до створення узгоджених картографічних шарів. Завдяки використанню сучасних інструментів — Google Earth Engine та ArcGIS Online — вдалося сформувати гнучку, надійну та масштабовану систему обробки, що дозволила точно оцінити просторові наслідки пожеж і закласти основу для подальших аналітичних етапів проекту.

Результати дослідження підтверджують ефективність адаптації міжнародних інструментів моніторингу пожеж до локальних умов. Поєднання

супутникової аналітики, індексних оцінок NDVI/NBR та ГІС-візуалізації дозволяє не лише картографувати наслідки пожеж, а й зробити кількісну оцінку шкоди. Подібний підхід наближає вітчизняну практику до світових стандартів управління екологічними ризиками.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНА РЕАЛІЗАЦІЯ КАРТОГРАФУВАННЯ НАСЛІДКІВ ПОЖЕЖ.

3.1 Використання GEE для дослідження наслідків пожеж

Початкові кроки

Я зареєструвався на сайті Google Earth Engine (https://earthengine.google.com/), що дозволило мені використовувати потужні обчислювальні ресурси для обробки геопросторових даних без потреби у встановленні програмного забезпечення на комп'ютер.

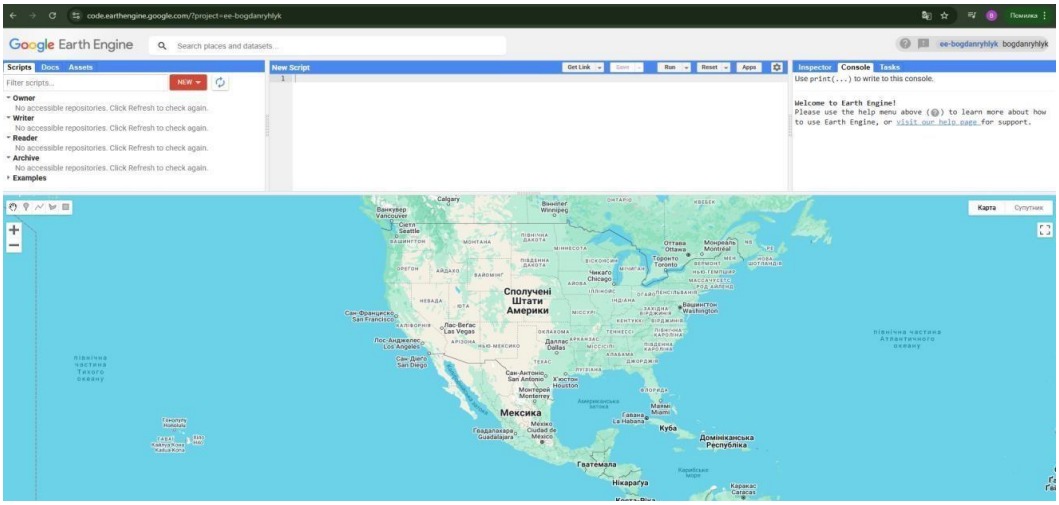


Рис. 3.1.1. Інтерфейс сайту GEE після входу в акаунт.

Для швидкого старту я переглянув відеоурок:
https://www.youtube.com/watch?v=E3N88gVQN2c

Це допомогло зрозуміти логіку написання скриптів, роботу з таблицями геометрії, супутниковими колекціями та мапами.

Вибір області дослідження (ROI)

Область дослідження (Region of Interest, ROI) була завантажена як таблиця з полігонами, яку я відфільтрував та візуалізував на карті:

```
var roi = table.filterBounds(geometry);
```

```
Map.centerObject(roi);
Map.addLayer(roi);
```

Цей код дозволяє обрати певну територію для подальшого аналізу та зосередити карту на ній.

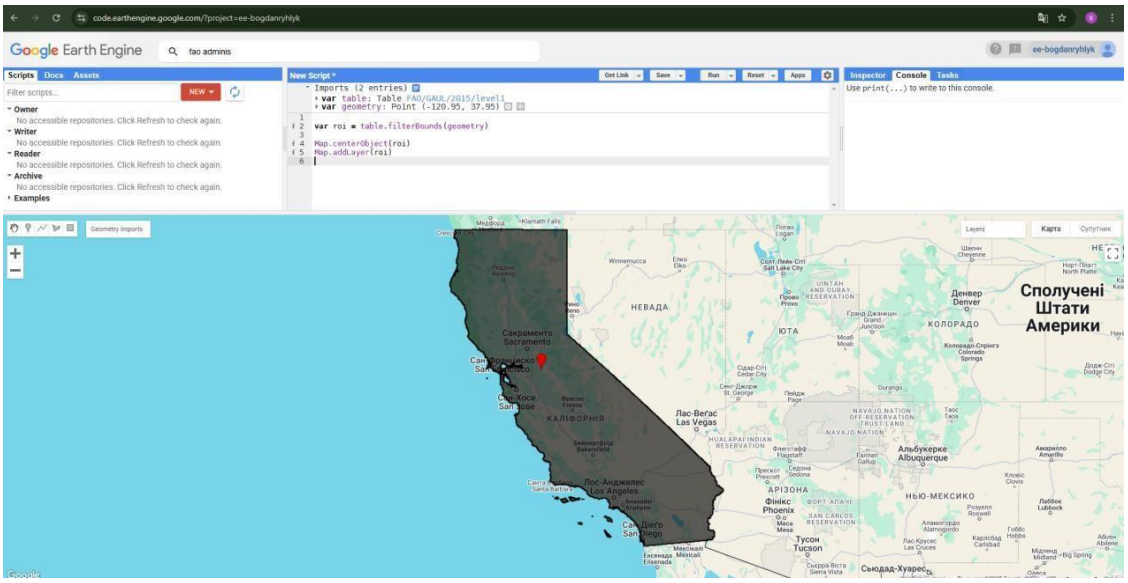


Рис. 3.1.2 Код для вибору, візуалізації та центрованого відображення області інтересу (ROI) на карті.

Оптимізація геометрії

Для підвищення продуктивності обробки складних полігонів я застосував функцію simplify():

```
var roi = table.filterBounds(geometry).map(function(feature){
  return feature.simplify(10000);
})
Map.centerObject(roi)
Map.addLayer(roi)
```

Ця функція зменшує кількість вершин у геометрії, зберігаючи при цьому загальні обриси області. Це особливо важливо для великих полігонів.

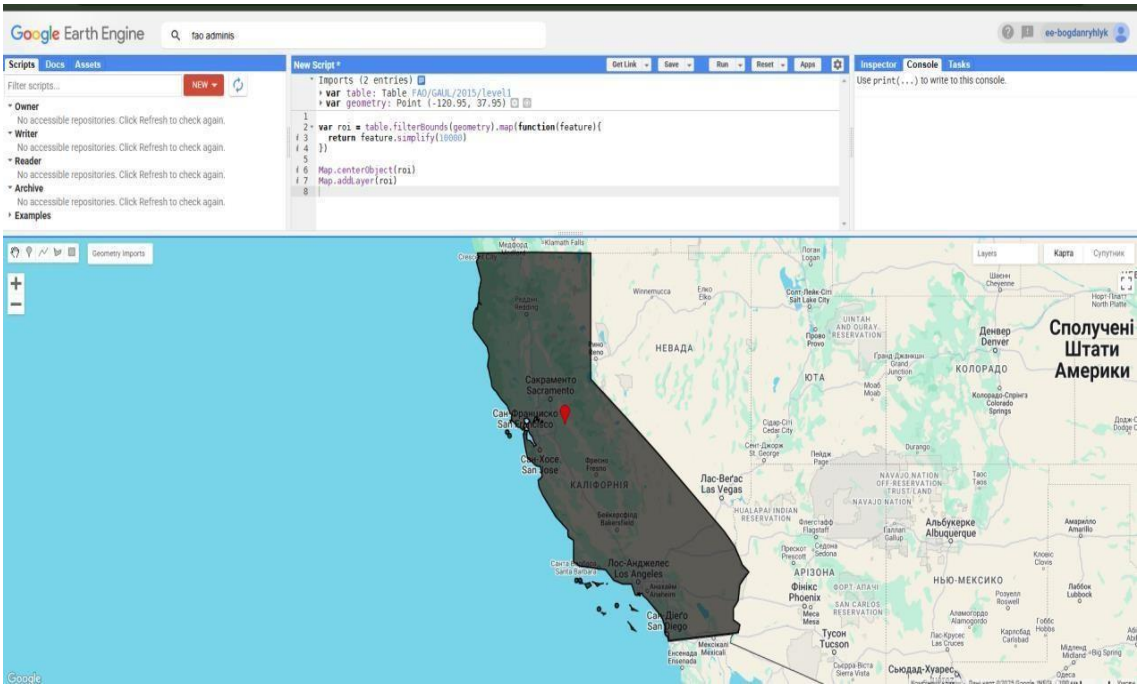


Рис. 3.1.3. Функція simplify().

Використання супутникових даних VIIRS

Дані VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) дозволяють виявити активні пожежі за інфрачервоним випромінюванням. Я відібрав відповідні дати та канали:

```
var roi = table.filterBounds(geometry).map(function(feature){
  return feature.simplify(10000)
})

Map.centerObject(roi)
Map.addLayer(roi)

var viirs = imageCollection.select(['I1','I2'])
 .filterDate('2017-10-08','2017-10-10')


 print(viirs)
Map.addLayer(viirs.toBands().clip(roi),[],'viirs_wildfire', false)
```

Далі зображення були обрізані за ROI та відображені на карті:

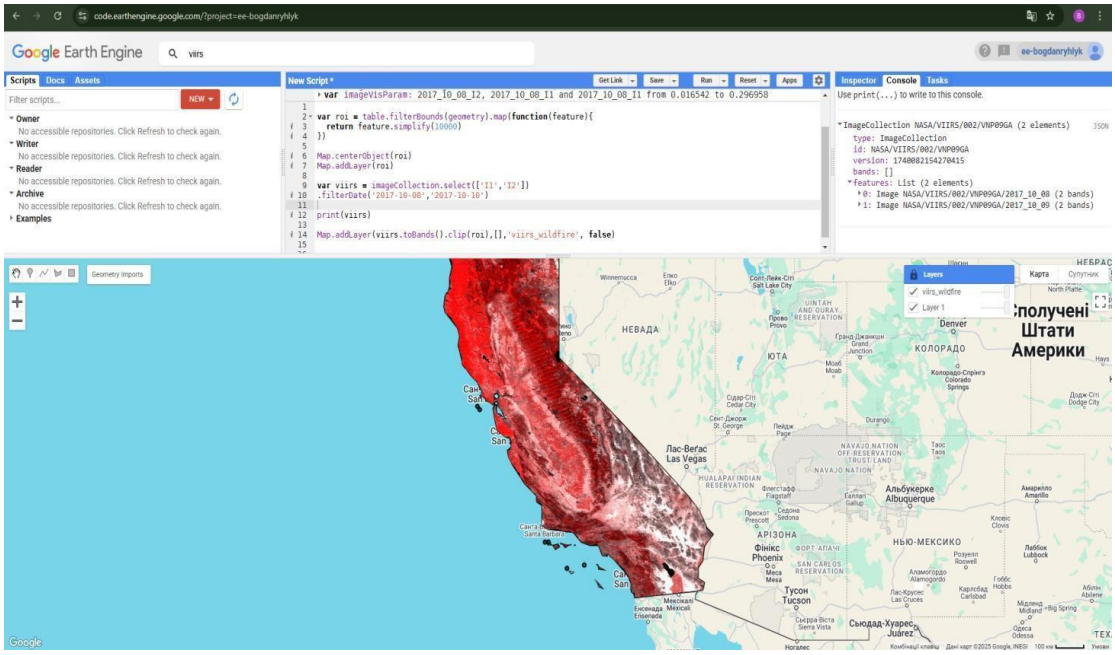


Рис. 3.1.4. Виявлені активні пожежі за інфрачервоним випромінюванням.

Інтерпретація: ця інформація дозволяє визначити місця інтенсивного теплового випромінювання — потенційні пожежі.Порівняння території до і після пожежі. Підбір зображень.

Я використав Landsat 8/9 SR для порівняння вигляду території до і після пожежі, зокрема в жовтні (місяць активного горіння):

```
var roi = table.filterBounds(geometry).map(function(feature){ return
  feature.simplify(10000)
  })
  Map.centerObject(roi) Map.addLayer(roi)
  var viirs = imageCollection.select(['I1','I2'])
  .filterDate('2017-10-08','2017-10-10')
  print(viirs) Map.addLayer(viirs.toBands().clip(roi),[],'viirs_wildfire', false)
  Map.centerObject(geometry2)
  // До пожежі
  var befor = imageCollection2.select(['SR_.*'])
```

```
.filterDate('2016','2017')
.filter(ee.Filter.calendarRange(10, 10, 'month'))
.filterBounds(geometry2);
//Після пожежі
var after = imageCollection2.select(['SR_.*'])
.filterDate('2018','2019')
.filter(ee.Filter.calendarRange(10, 10, 'month'))
.filterBounds(geometry2);
//Візуалізація
```

Map.addLayer(befor.median().clip(geometry2),{bands: ['SR_B5','SR_B4','SR_B3']}, 'before_rgb', false);

Map.addLayer(after.median().clip(geometry2),{bands: ['SR_B5','SR_B4','SR_B3']}, 'after_rgb', false);

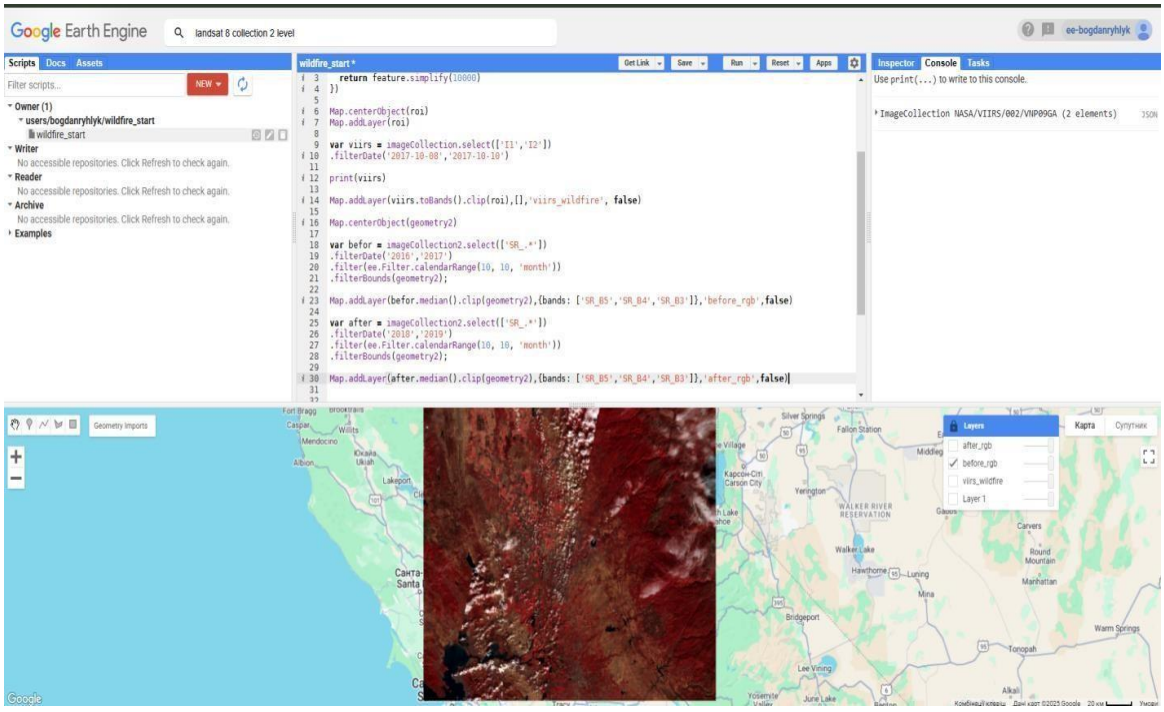


Рис. 3.1.5. До пожежі.

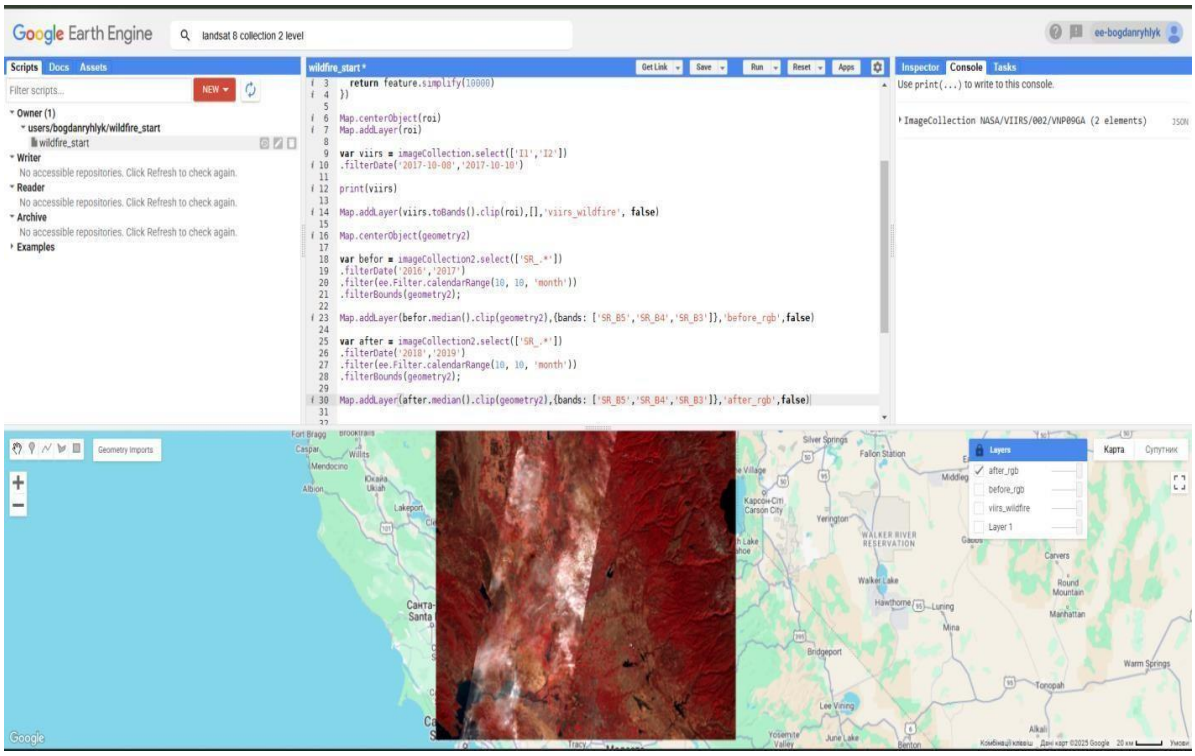


Рис. 3.1.6. Після пожежі

Візуально помітні ділянки із потемнілим або зниклим рослинним покривом.

Обчислення індексу NDVI

Індекс NDVI дозволяє оцінити стан рослинності, вимірюючи різницю між відбитим ближнім ІЧ та червоним світлом.

```
var ndvi_befor = befor.map(function(img){
var gain = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_5')) var offset = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_3')) var sr = img.multiply(gain).add(offset)
var ndvi = sr.normalizedDifference(['SR_B5','SR_B4']).rename('ndvi_before'); return ndvi
}).median();

var ndvi_after = after.map(function(img){
var gain = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_5')) var offset = ee.Number(img.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_3')) var sr = img.multiply(gain).add(offset)
```

```
  var ndvi = sr.normalizedDifference(['SR_B5','SR_B4']).rename('ndvi_before');
  return ndvi
}).median();
//Візуалізація NDVI
Map.addLayer(ndvi_befor.clip(geometry2),[],'ndvi_before', false)
Map.addLayer(ndvi_after.clip(geometry2),[],'ndvi_after', false)
```

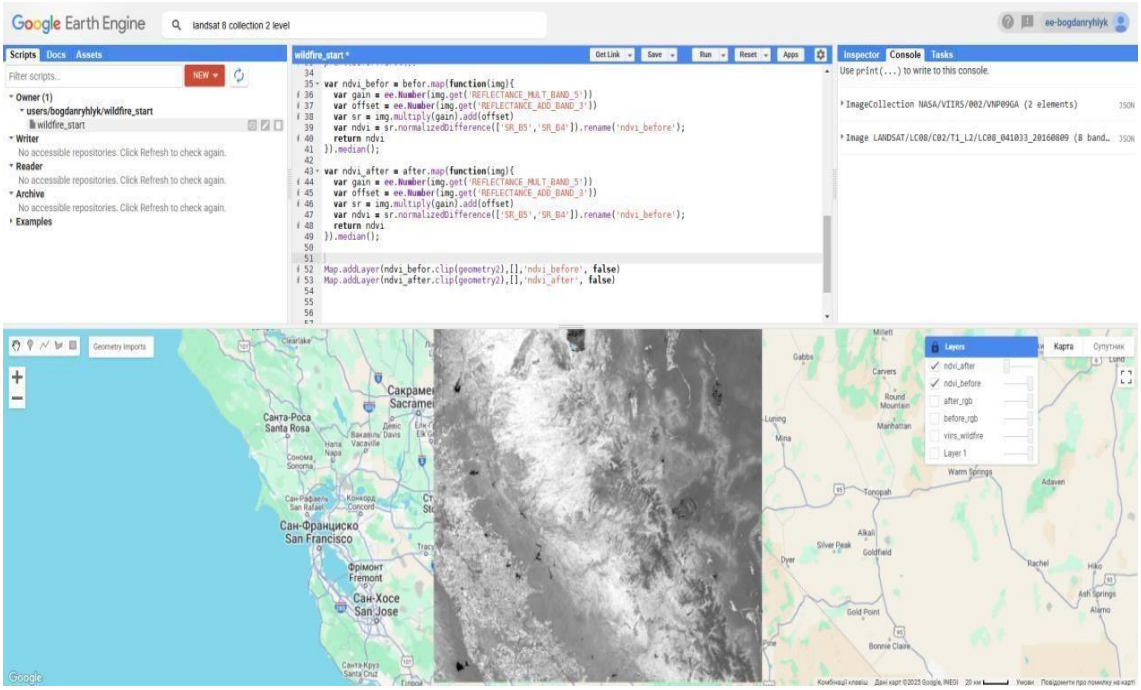


Рис. 3.1.7. До пожежі.

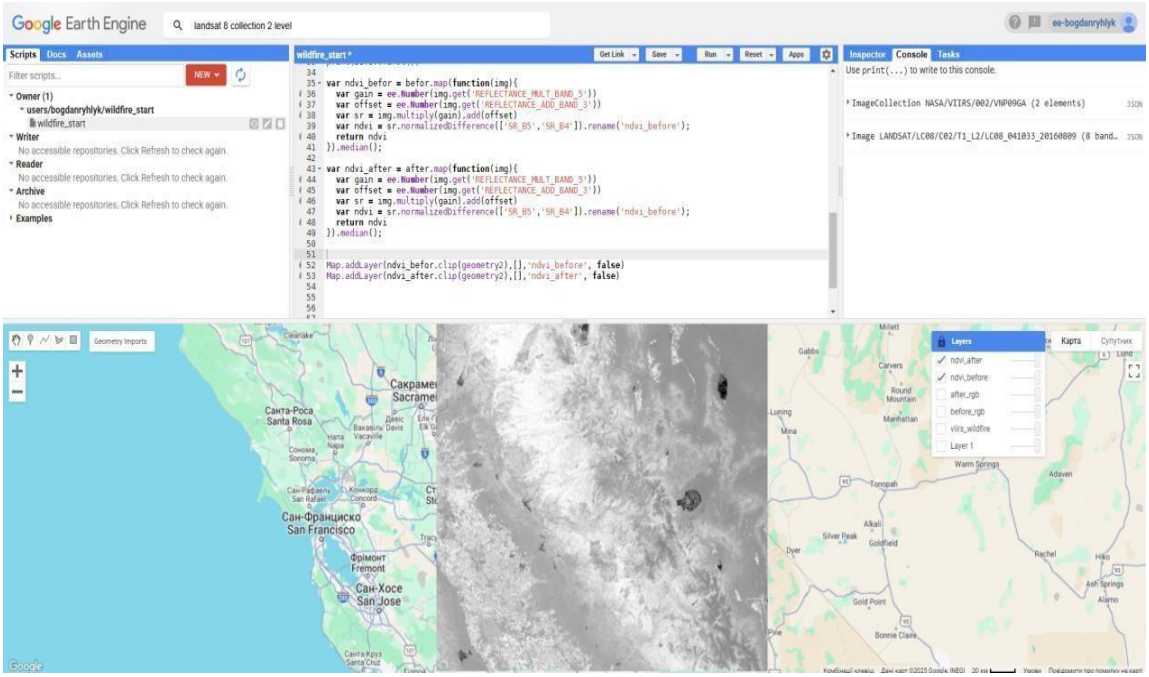


Рис. 3.1.8. Після пожежі.

Гістограми значень NDVI print(

ui.Chart.image.histogram(ndvi_befor, geometry2, 300)

.setOptions({

title: 'NDVI before (2016)'

})

)

print(

ui.Chart.image.histogram(ndvi_after, geometry2, 300)

.setOptions({

title: 'NDVI after (2018)'

})

)

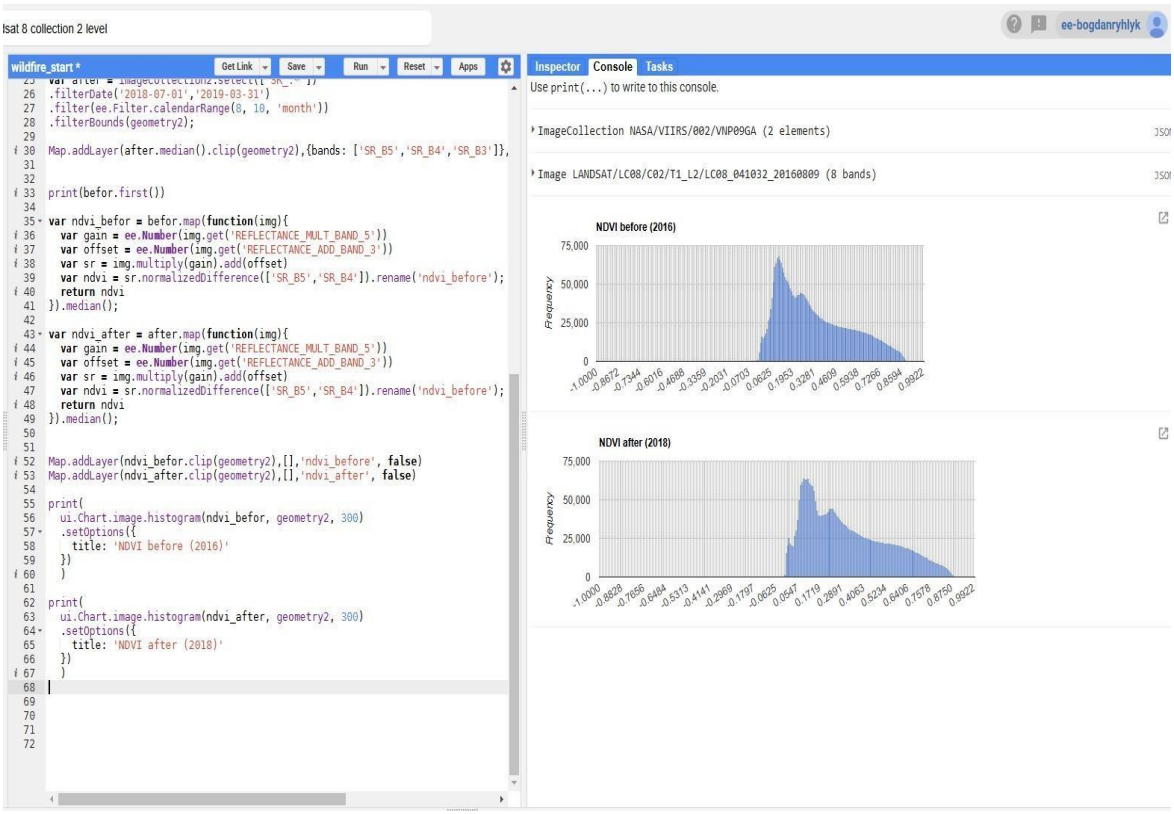


Рис. 3.1.9. Гістограма значень NDVI.

До пожежі значення NDVI були вищими, що вказує на здорову рослинність. Після — відбувається зсув до нижчих значень, що свідчить про деградацію покриву.

Карта змін NDVI

var ndvi_change = ndvi_befor.subtract(ndvi_after);

Map.addLayer(ndvi_change.clip(geometry2), [], 'ndvi_change', false)

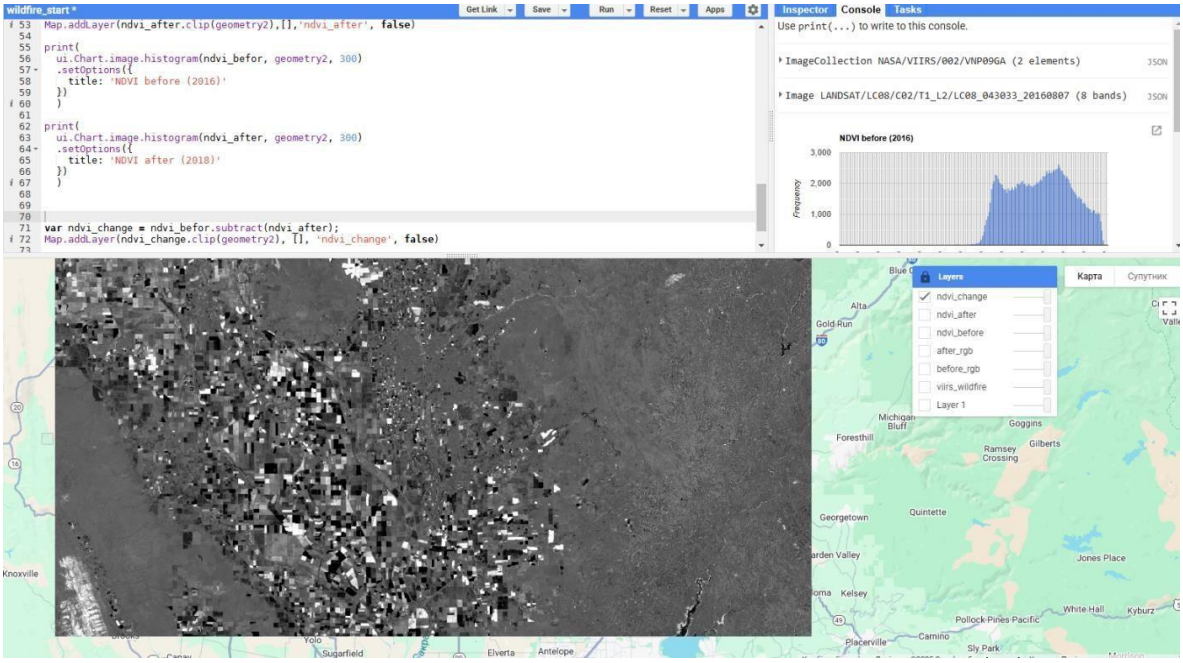


Рис. 3.1.10 Зменшення активності рослинності.

Ця карта показує, де саме відбулося зниження NDVI — зменшення активної рослинності.

Експорт зображення до QGIS

Export.image.toDrive({

image: ndvi_change_masked.clip(geometry2), description: 'wildfire_change',

scale:100, maxPixels: 1e13, region: geometry2, crs: 'EPSG:4326'

})

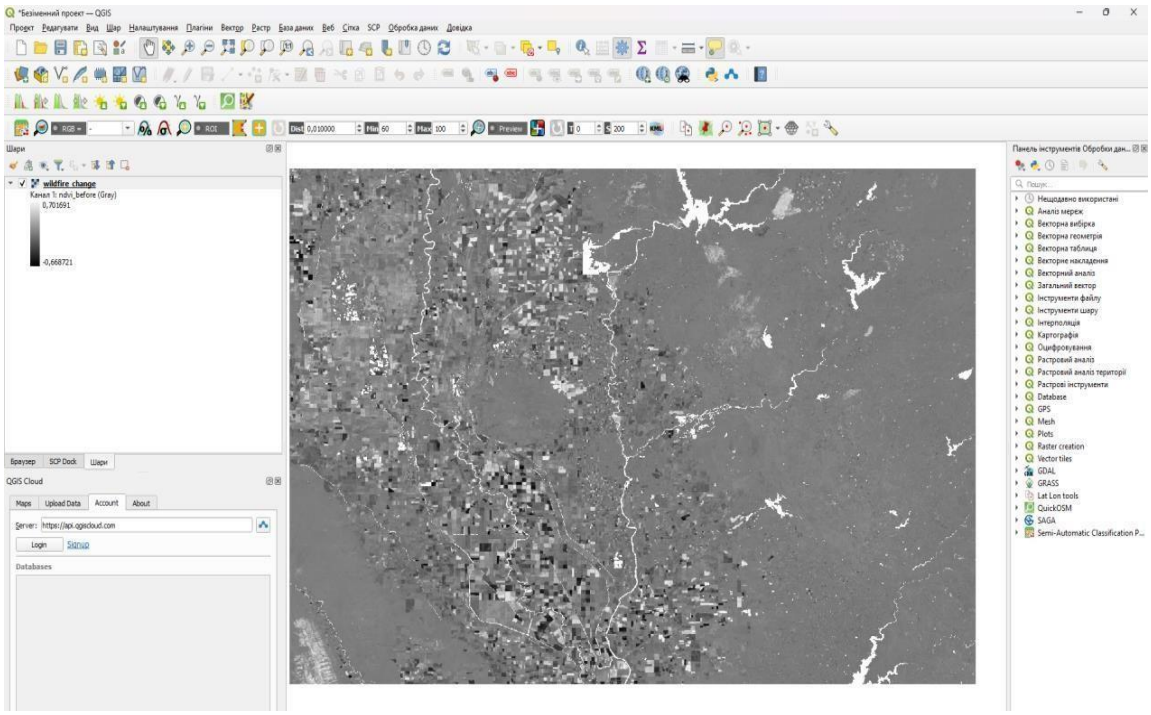


Рис. 3.1.11. Зображення в QGIS

Призначення: експортувати результати у формат .tif для подальшого аналізу в QGIS або ArcGIS.

Розрахунок площі змін

```
var thr = ndvi_change_masked.gt(0.1) var mask = thr.updateMask(thr)
Map.addLayer(mask.clip(geometry2),[],'mask',false)

var area = mask.multiply(ee.Image.pixelArea().divide(1e6));
var final_area = ee.Number(area.reduceRegion(ee.Reducer.sum(), geometry2, 300).values().get(0))
print(final_area)
```

Рис. 3.1.12. Розрахунок площі змін.

Результат: ~1258.5 км² — площа деградації рослинного покриву в результаті

пожежі.

Візуальна палітра

- Зелений — рослинність неушкоджена або відновлена
- Жовтий — середній рівень пошкодження
- Червоний — вигорілі території

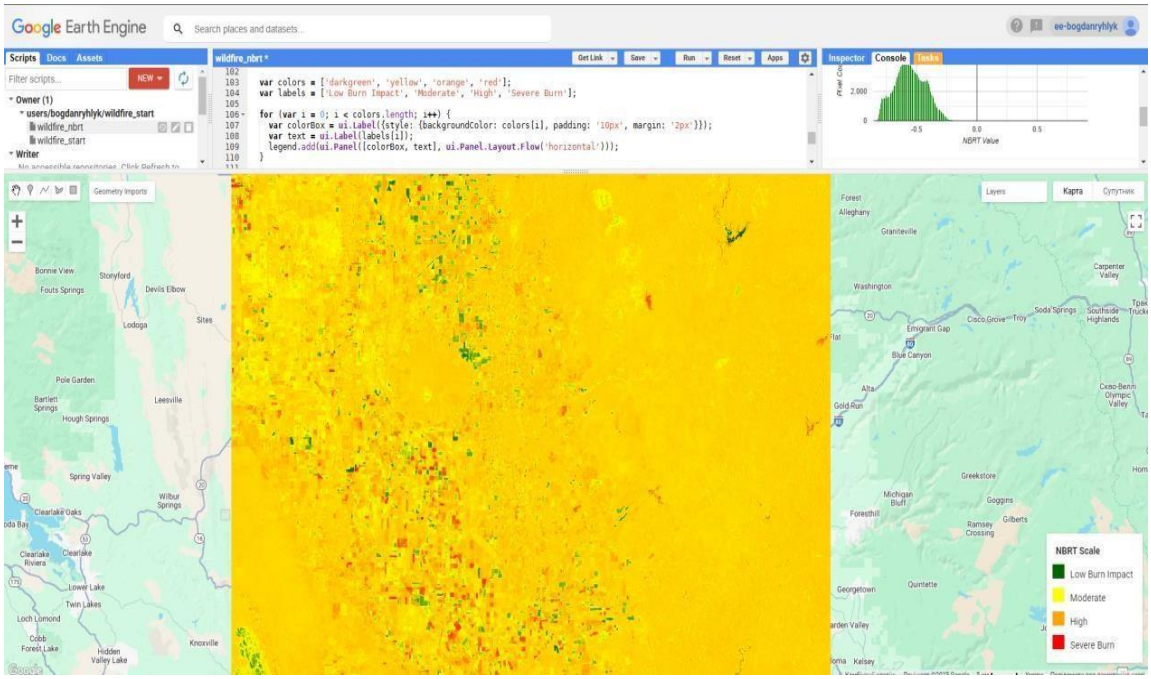


Рис. 3.1.13 Кольорове зображення вигорілої території.

Це допомагає швидко інтерпретувати дані візуально.

3.2 Використання ArcGIS Online для аналізу.

Реєстрація в ArcGIS Online

Спочатку я створив обліковий запис в сервісі ArcGIS Online — хмарній платформі від Esri для роботи з геопросторовими даними. Після реєстрації відкрилася можливість працювати з картами, шарами та іншими геоінформаційними інструментами без необхідності встановлення програмного забезпечення.

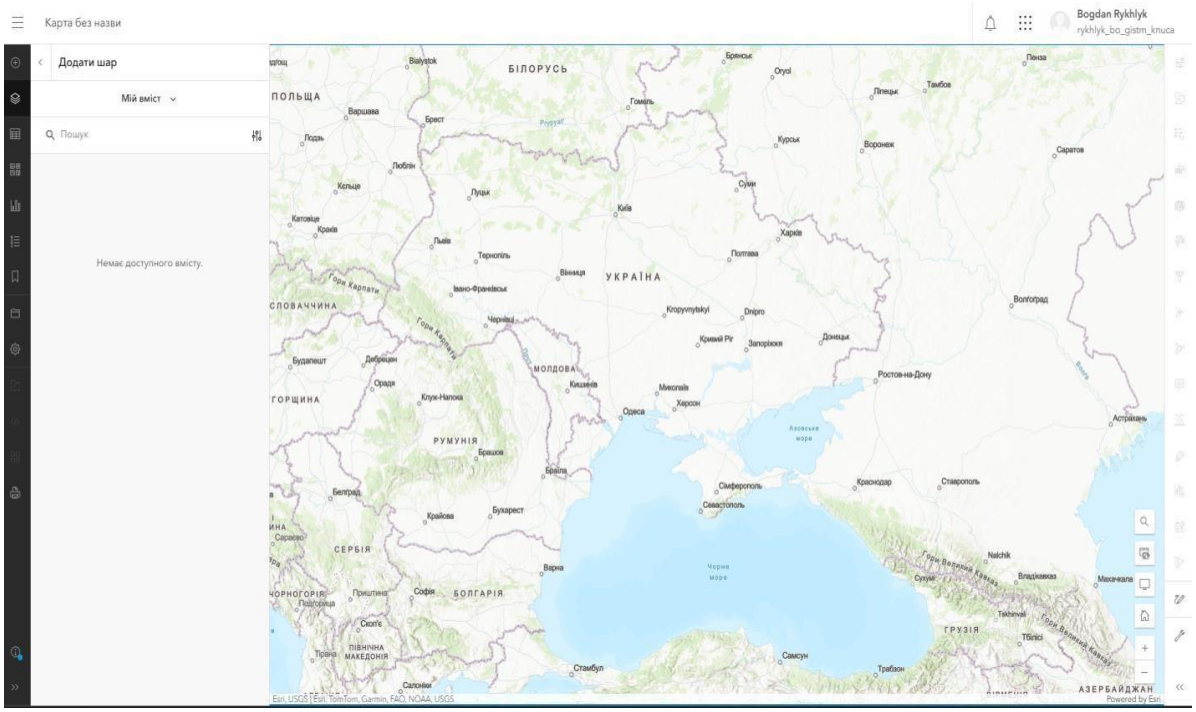


Рис 3.2.1 Інтерфейс програми ArcGIS Online.

Додавання тематичних шарів

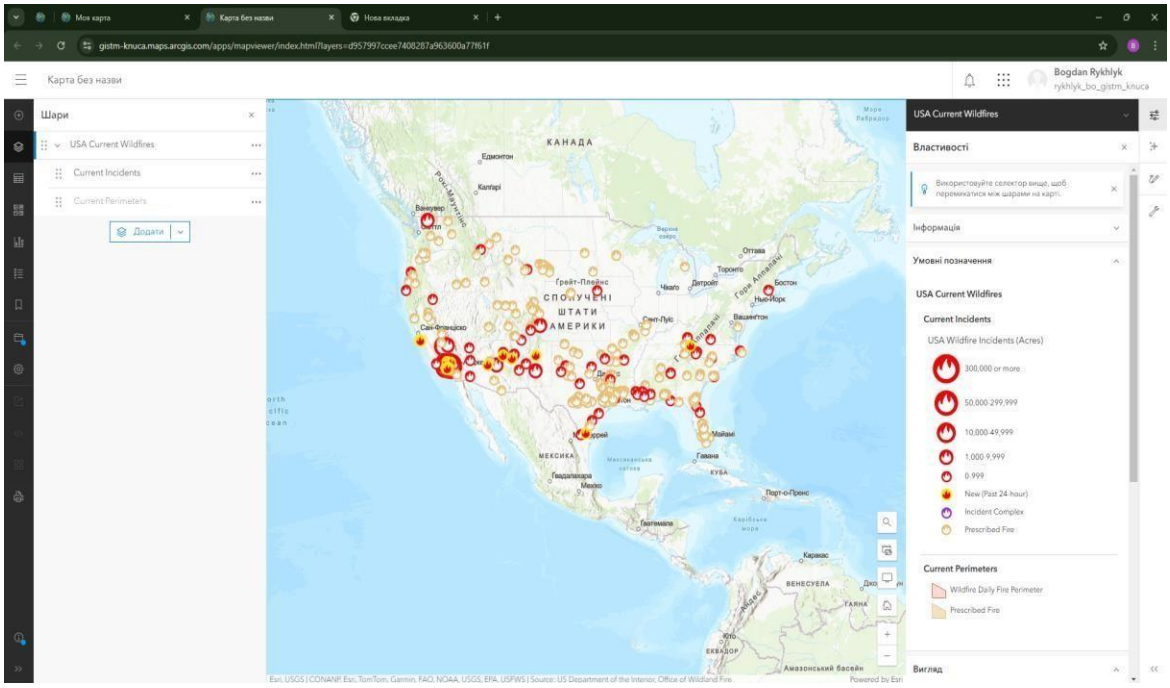


Рис. 3.2.2. Доданий шар USA Current Wildfires.

Цей шар містить актуальну інформацію про лісові пожежі на території США. Дані оновлюються протягом останніх 7 днів і надходять із двох основних джерел:

- IRWIN (Integrated Reporting of Wildland-Fire Information)

- NIFC (National Interagency Fire Center)

Шар дозволяє в режимі реального часу спостерігати за осередками пожеж, їхнім розташуванням, масштабами та змінами.

Wildfire Hazard Potential (WHP), Version 2020 Classified

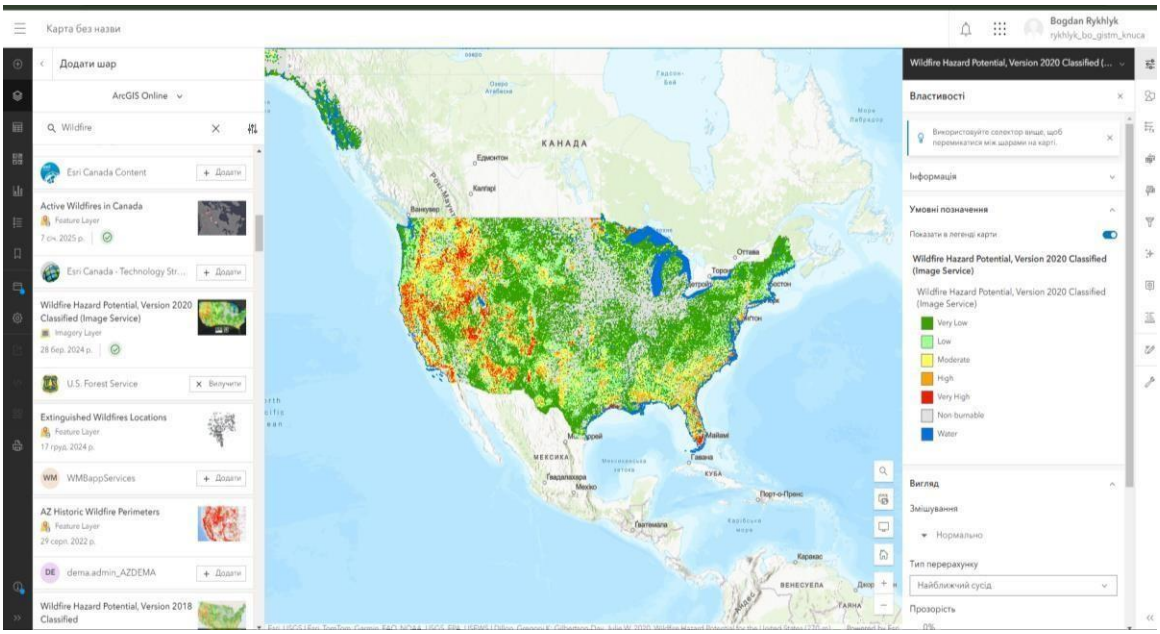


Рис. 3.2.3 Шар Wildfire Hazard Potential, Version 2020 Classified.

Цей набір даних відображає потенційну небезпеку виникнення пожеж. В основі – версія 2020 року з класифікацією за п’ятьма рівнями:

- Дуже низький
- Низький
- Помірний
- Високий
- Дуже високий

Шар орієнтований на стратегічне планування та управління природними ресурсами і землями на великій території. Він дозволяє оцінити, де є найбільша ймовірність виникнення пожеж і в яких регіонах необхідно вживати запобіжних заходів.

Додавання власних даних

Після роботи з публічними шарами було додано власний створений шар в ArcGIS Online. Це дозволило:

- інтегрувати мої дані з іншими шарами на карті;
- налаштовувати візуалізацію та атрибутивну інформацію.

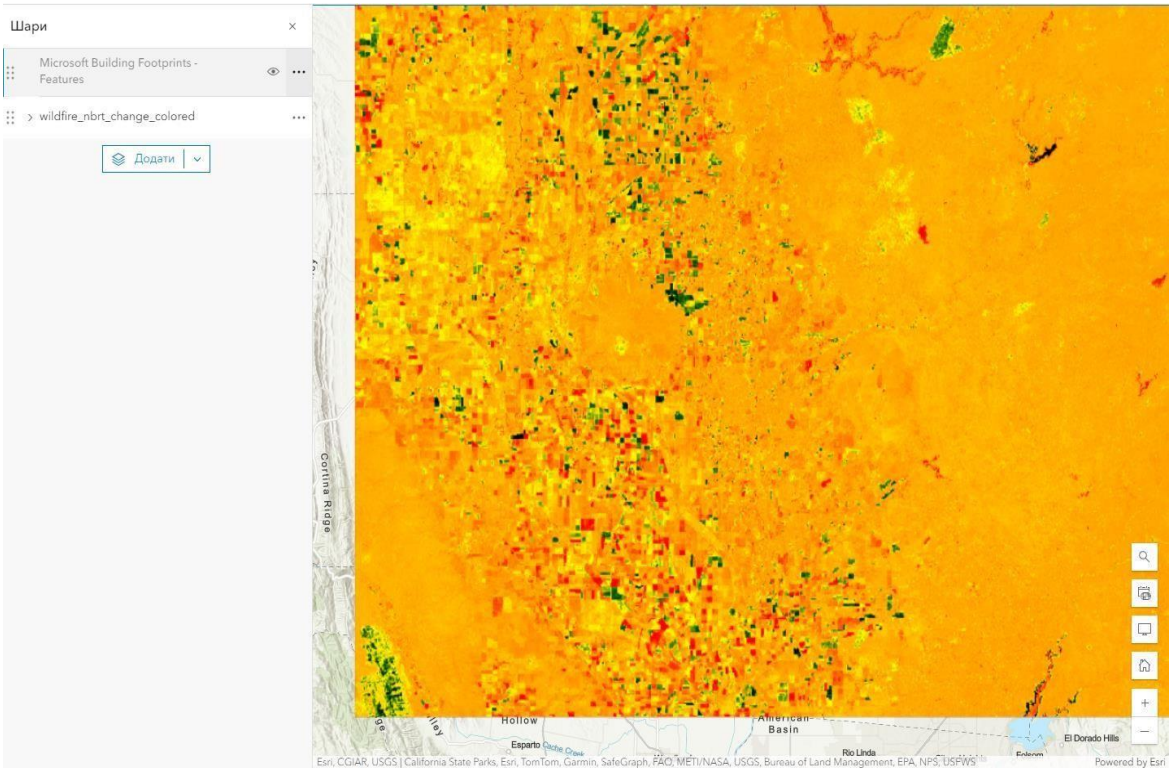


Рис. 3.2.4. Створений шар в ArcGis Online.

Додавання шару забудови

Також був доданий шар із будинками, який демонструє розташування житлових споруд. Це дозволяє:

- аналізувати близькість населених пунктів до зон пожежної небезпеки;
- моделювати ризики для житлової інфраструктури;
- використовувати дані для планування евакуаційних заходів або зон захисту.

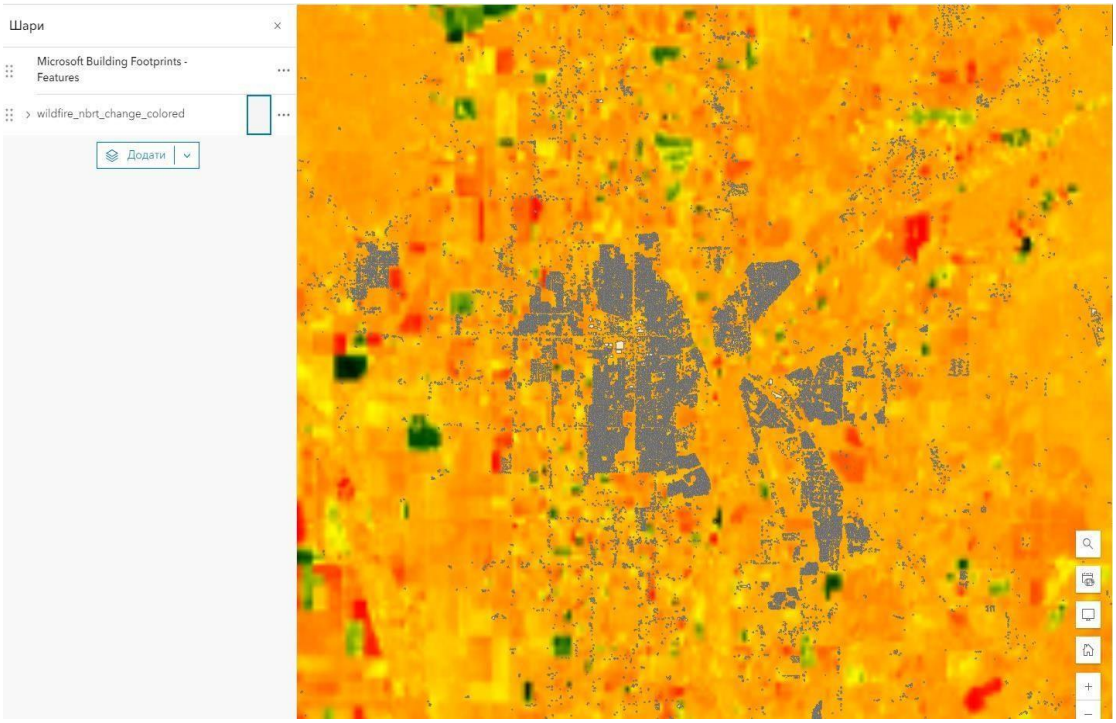


Рис. 3.2.5 Шар будинків.

3.3 Застосування індексів NBRT та NBR на території України.

Для прикладного застосування методики аналізу вигорілих територій на території України було виконано адаптацію коду до відповідних географічних координат і часових рамок, я обрав територію Луганської області, щоб побачити як вплинуло початок повномасштабної війни.

NBRT (Normalized Burn Ratio Thermal):

Створено середні знімки до 2021 року та після, обчислено NBRT для кожного періоду, побудовано карту NBRT change, яка відображає просторову зміну значень.

Рис. 3.3.1. NBRT до 2021 року.

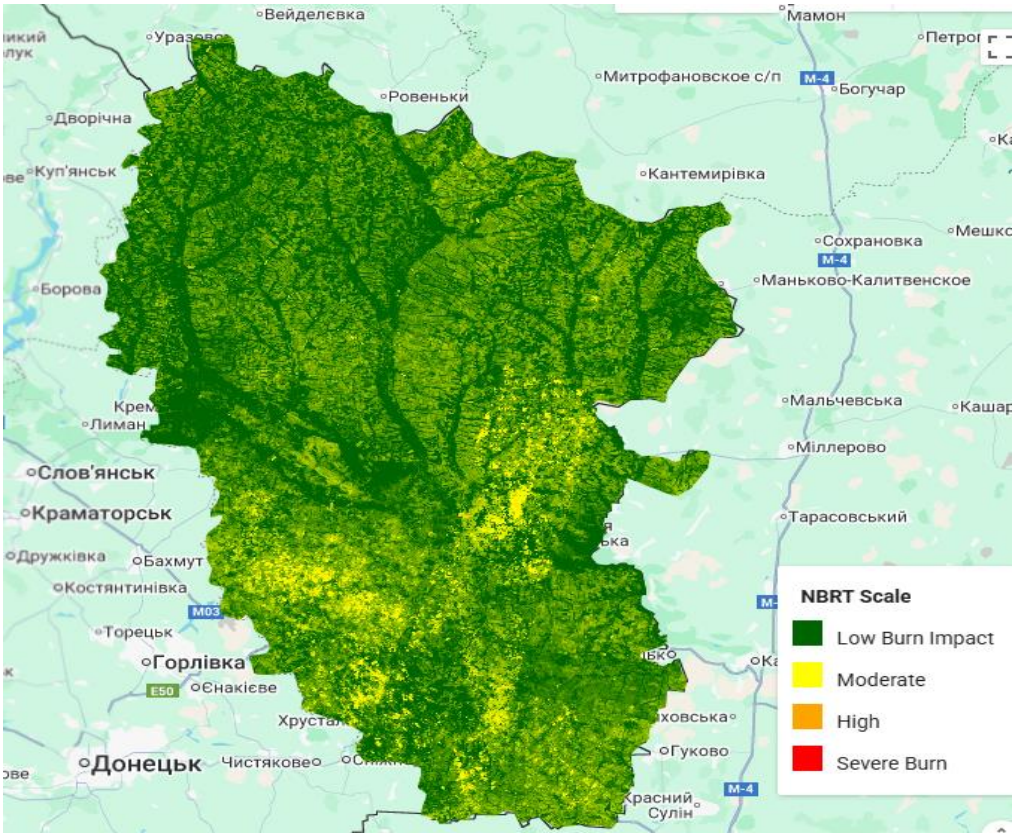


Рис. 3.3.2 NBRT після 2021 року.

NBR (Normalized Burn Ratio)

Аналогічно, побудовано карти до та після 2021 року, визначено ділянки з суттєвим зменшенням значень NBR, це свідчить про деградацію рослинності внаслідок пожеж.

Рис. 3.3.3. NBR до 2021 року.

Рис. 3.3.4. NBR після 2021 року.

Комбінування обох індексів:

Карти NBRT та NBR дозволяють перевірити достовірність одне одного,

NBRT краще реагує на активні теплові осередки, NBR — на післяпожежні зміни, Аналіз дає змогу не лише визначити площі вигорілих територій, а й оцінити ступінь відновлення екосистем у подальші роки.

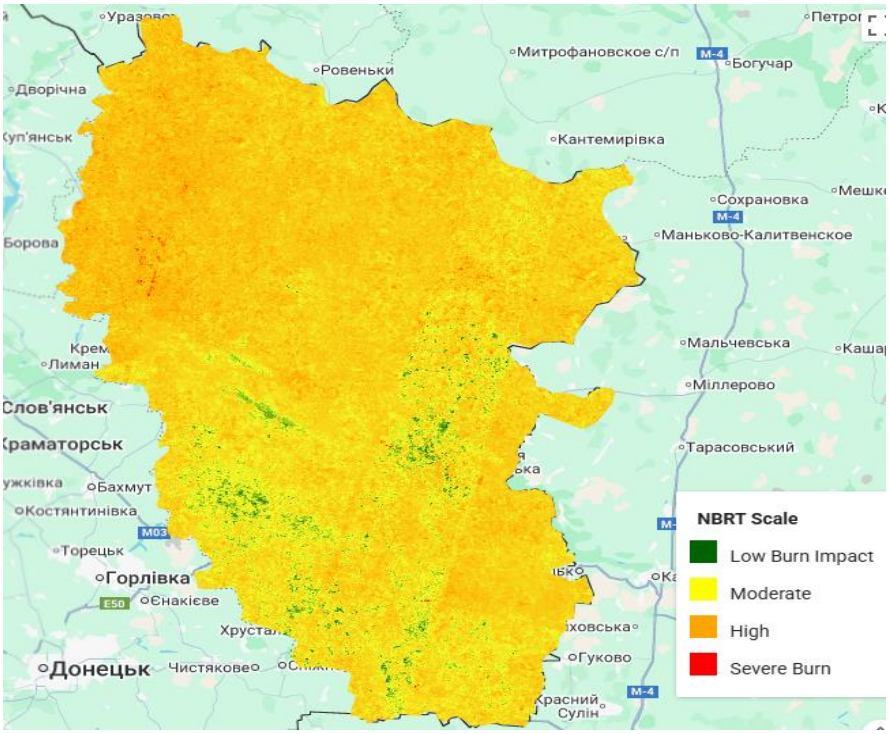


Рис. 3.3.5 NBRT change.

Рис. 3.3.6. NBR change.

3.4 Аналіз результатів

Аналіз NDVI до та після пожежі

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) є одним із найчутливіших показників стану рослинного покриву. Його значення коливаються в межах від - 1 до +1:

- +0.6...+0.9 — густа здорова рослинність (ліси, сади);
- 0.2 0.5 — трави, чагарники;
- < 0.1 — ґрунт, вигорілі ділянки або урбанізовані території. До пожежі:

На картах NDVI за 2016–2017 роки більшість території характеризувалася високими значеннями NDVI (0.5–0.8), що вказує на щільний рослинний покрив — ліс або густі чагарники.

Гістограма NDVI до пожежі показала домінування пікселів зі значенням вище 0.4, що свідчить про добрий екологічний стан території.

Після пожежі:

NDVI за 2018–2019 роки значно знизився на великих ділянках, особливо в зонах активного горіння.

Значення зменшились до 0.1–0.3 або нижче, що є ознакою втрати або деградації рослинності.

Гістограма NDVI після пожежі наочно продемонструвала зсув уліво (до нижчих значень), що свідчить про значне зменшення біомаси.

Просторовий аналіз NDVI change

На основі різниці NDVI до і після пожежі була побудована карта NDVI change, яка показує просторову динаміку втрати рослинного покриву.

- Зелені зони — стабільна або неушкоджена рослинність.
- Жовті зони — помірні зміни, можливо, частково вигорілі або деградовані ділянки.
- Червоні зони — сильна деградація або повне вигоряння.

Ця карта дозволяє не лише візуалізувати втрати, а й провести зонування для подальшого:

- лісовідновлення;

- рекультивації;
- обмеження доступу для запобігання ерозії.

Кількісний аналіз площі вигорілих територій

На основі побудованої бінарної маски (ndvi_change_masked.gt(0.1)) було обчислено площу змінених територій:

Загальна площа вигорілих або деградованих ділянок становить приблизно 1258.5 км².

Це значна територія, що може включати:

- природні ліси;
- сільськогосподарські угіддя;
- охоронювані території;
- прибережні екосистеми.

Цей розрахунок важливий для звітності перед державними структурами, міжнародними організаціями та формування бюджету на відновлення.

Аналіз NBRT

NBRT (Normalized Burn Ratio Thermal) є індексом, що використовує не лише ближнє ІЧ, як NBR, але й термальні канали, чутливі до високих температур.

До 2021 року:

Території мали стабільні значення NBRT, що відповідали здоровій рослинності та нормальній температурі поверхні.

Після 2021 року:

Виявлено різке зростання NBRT у певних осередках — це теплові плями, які свідчать про активні пожежі, або нещодавнє вигоряння.

NBRT change:

Карта змін дозволяє чітко локалізувати території із підвищеним термічним впливом.

Переваги:

NBRT можна використовувати навіть у реальному часі, під час активної пожежі, на відміну від NBR, який фіксує наслідки.

Аналіз NBR (Normalized Burn Ratio)

NBR — класичний індекс для оцінки вигорілих зон.

Значення NBR суттєво знизились після пожежі, особливо в центрах горіння.

Побудована карта NBR change підтвердила: Географію пошкоджених ділянок, тяжкість пошкодження, межі пожежі.

NBR є офіційно рекомендованим індексом у стандартах NASA, USGS, FAO для картографування вигорілих площ.

Порівняльний аналіз: NDVI vs NBRT vs NBR

Показник	До пожежі	Після пожежі	Зміна
NDVI	Високий (0.6–0.8)	Низький (0.1–0.3)	Різке зниження
NBRT	Нормальний	Високий	Різкий термічний пік
NBR	Високий	Дуже низький	Сильне зменшення

Висновок: Усі три індекси дали узгоджені результати, підтверджуючи просторові межі й ступінь вигоряння.

Інфраструктурні та екологічні наслідки

Після інтеграції результатів в ArcGIS Online, у шарі будинків було виявлено: кілька селищ, розташованих у 100–200 м від зони інтенсивного вигоряння, частину доріг, що проходять через пошкоджені ділянки, сільгоспугіддя, які постраждали.

ВИСНОВКИ

Пожежі залишають значний слід як у природному середовищі, так і в соціально- економічній сфері. У межах цієї дипломної роботи було досліджено можливості використання геоінформаційних технологій для виявлення, аналізу та картографування наслідків природних пожеж, із акцентом на практичну реалізацію індексного супутникового аналізу на базі платформи Google Earth Engine та візуалізацію результатів у середовищі ArcGIS Online. Проведене дослідження дозволяє сформулювати наступні висновки:

Актуальність дослідження

Аналіз предметної сфери показав, що природні пожежі є одними з найнебезпечніших катастрофічних явищ, які здатні спричиняти значну шкоду екосистемам, ландшафтам, флорі та фауні. Особливо небезпечними є лісові пожежі, що в умовах кліматичних змін набувають усе більшого поширення в Україні. Тому вкрай важливим є створення інструментів просторового моніторингу та оперативного реагування на такі події, що й обумовлює наукову та практичну цінність теми дослідження.

Міжнародний досвід як методологічна основа

У розділі 1 проаналізовано міжнародні системи моніторингу пожеж — GWIS (Global Wildfire Information System) та EFFIS (European Forest Fire Information System), які базуються на поєднанні супутникових технологій (MODIS, VIIRS), індексних прогнозів (FWI), векторних карт периметрів пожеж та статистичних порталів. Їх приклад показує, що системний моніторинг наслідків пожеж повинен ґрунтуватися на:

- хмарних обчисленнях;
- багатошаровій інтеграції даних;
- адаптивних алгоритмах виявлення та прогнозування.

Досвід GWIS та EFFIS був адаптований у власну методику, розроблену в межах цього дослідження.

Розробка методики геоінформаційного аналізу

У роботі була створена повноцінна методика ГІС-аналізу наслідків пожеж, яка включає завантаження та фільтрацію супутникових знімків Landsat, VIIRS, побудову індексів NDVI, NBR, NBRT для аналізу рослинного покриву; обчислення змін стану територій на основі різниці індексів до і після пожеж, побудову тематичних карт змін (NDVI_change, NBR_change) та масок деградації, оцінку площ постраждалих територій з точністю до квадратного кілометра, експорт результатів у вигляді растрових карт і векторних шарів до ArcGIS Online.

Ця методика є адаптивною, універсальною та масштабованою для інших територій України та за її межами.

Практична реалізація та просторовий аналіз

Реалізація проєкту в середовищі Google Earth Engine показала:

- ефективність хмарних обчислень для аналізу великих супутникових масивів;
- можливість побудови точних просторових моделей змін навіть за обмежених ресурсів;
- високу інформативність індексів NDVI та NBR у виявленні меж уражених пожежами зон.

За результатами аналізу було виявлено понад 1258,5 км² деградованої території, що підтверджується картографічними даними.

Інтеграція в інформаційні системи управління

Отримані результати були інтегровані до ArcGIS Online, що забезпечує:

- просторову візуалізацію меж пожеж;
- накладання на інші тематичні шари (будівлі, дороги, зони ризику);
- потенціал подальшої інтеграції у структури державного моніторингу (ДСНС, Міндовкілля, Держлісагентство);

- підтримку прийняття управлінських рішень на місцевому, регіональному і державному рівнях.

Наукова новизна та прикладне значення

Робота демонструє можливість поєднання інструментів дистанційного зондування, хмарної обробки даних, просторового аналізу та веб-картографії для вирішення завдань екологічного моніторингу. Наукова новизна полягає в побудові гнучкої методики, яка базується на відкритих даних,є інтегрованою у сучасні геосервіси та може бути масштабована на інші природні явища (повені, посухи, вирубка лісу).

Таким чином, у дипломній роботі досягнуто поставленої мети: на основі аналізу міжнародного досвіду було розроблено, реалізовано та апробовано геоінформаційну методику оцінки наслідків природних пожеж. Отримані результати мають не лише академічне, а й практичне значення, оскільки можуть бути використані для покращення системи екологічного моніторингу в Україні, прийняття управлінських рішень, а також адаптації до змін клімату та мінімізації ризиків для навколишнього природного середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байєса та геоінформаційних технологій. Сучасні інформаційні системи. 2022. Т. 6, № 1. С. 19–28.

2. Барабаш О.В., Бандурка О.І., Шпурик В.В., Свинчук О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. Сучасні інформаційні системи. 2021. Т. 5, №4. С.17–25.

3. Бандурка О.І., Барабаш О.В. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.: 27 травня 2021 р. Черкаси. С.51–53

4. Барабаш О.В., Шпурик В.В., Бандурка О.І. ГІС як інструмент дослідження антропогенного впливу на навколишнє середовище. Integrated Intellectual Robototechnical Complexes (IIRTC-2021): матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2021 р. Київ. С.177–179.

5. Бандурка О.І., Чорний О.О. Методи оцінки спалених пожежами територій за космічними знімками. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф., 20 квітня 2021 р. Київ: Політехніка, 2021. С. 272–273.

5. Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інформаційна система аналізу антропогенного впливу на стан лісових насаджень. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2021. № 3(72). С. 25–37.

6. Аналіз наслідків лісових пожеж за допомогою ГІС та дистанційного зондування (І. М. Шевченко, 2019).

7. Методи геоінформаційного аналізу та картографування природних катастроф (А. С. Юшкевич).

8. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_VIIRS_002_VNP09GA#description

9. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2

10. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE_DYNAMICWORLD_V1

11. https://atmosphere.copernicus.eu/global-fire-monitoring

12. https://gwis.jrc.ec.europa.eu

13. https://forest-fire.emergency.copernicus.eu

14. https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov

15. https://meersens.com/wildfire-monitoring/?lang=en