

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

____ Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

Тема: «Супутниковий моніторинг лісових пожеж»

Виконавець: студентка групи ГС-4126, Хаєцька Галина Володимирівна

Керівник: к.т.н, доцент, Ніколаєнко Олександр Євгенович _____

Нормоконтролер: к.е.н, доцент Стецюк Михайло Петрович _____

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет наземних споруд і аеродромів

Кафедра аерокосмічної геодезії та землеустрою

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

_____ Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

« ___ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Хаєцькій Галині Володимирівні

1. Тема роботи «Супутниковий моніторинг лісових пожеж» затверджена наказом ректора «10» травня 2023 р. № 677/ст.
2. Термін виконання роботи: з «29»травня 2023 року по «25»червня 2023 року.
3. Вихідні дані роботи: літературні та наукові джерела, інформація щодо характеристик лісових пожеж та стану пожежної безпеки в Україні. Знімки Google Earth, багатоспектральні космічні знімки Landsat-7 та Sentinel-2.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел, загальна характеристика лісів і види лісових пожеж, можливості використання супутникового моніторингу, супутниковий моніторинг лісових пожеж, моніторинг лісових пожеж за допомогою NDVI.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми, графіки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Отримання завдання на кваліфікаційної роботи	29.05.2023	
2	Пошук та опрацювання літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	30.05.2023- 01.06.2023	
3	Написання вступу та 1 розділу кваліфікаційної роботи	02.06.2023- 05.06.2023	
4	Написання 2 та 3 розділів кваліфікаційної роботи	06.06.2023- 09.06.2023	
5	Оформлення графічного матеріалу	10.06.2023- 12.06.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки, підготовка матеріалу та презентації до захисту кваліфікаційної роботи	13.06.2023- 15.06.2023	

7. Дата видачі завдання: «29» травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ Ніколаєнко Олександр Євгенович
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____ Хаєцька Галина Володимирівна
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Супутниковий моніторинг лісових пожеж» містить: 57 сторінок, 28 рисунків, 3 таблиці, 28 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є лісові пожежі за допомогою супутникових знімків.

Предметом дослідження є супутниковий моніторинг лісових пожеж з використанням індексу NDVI

Мета роботи: вивчення методів і технологій супутникового моніторингу з метою виявлення лісових пожеж їх аналіз, дослідження та аналіз ефективності використання вегетаційних індексів на основі супутникових даних для виявлення та моніторингу лісових пожеж.

Методи дослідження: спостереження, аналіз, порівняння, пояснення, моніторинг, обробки літературних джерел.

Результат бакалаврської роботи має важливе значення для подальшої роботи над моніторингом лісових пожеж, аналіз лісових покривів, оцінка ефективності використання вегетаційних індексів, зокрема NDVI, NBR.

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ, ЛІСИ, ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ, ВЕГЕТАЦІЙНІ ІНДЕКСИ, NDVI, NBR, КАРТОГРАФУВАННЯ, ПРИРОДНО-КОРИСТУВАЦЬКІ СУПУТНИКИ, СПЕКТРАЛЬНІ ДІАПАЗОНИ, ТОРФ'ЯНИКИ

ВСТУП

Актуальність теми полягає в тому, що в останні роки спостерігається зростання кількості та інтенсивності лісових пожеж у багатьох регіонах країни і світу. Це створює значні загрози для лісових екосистем, клімату та здоров'я людей. Супутниковий моніторинг надає унікальну можливість виявлення, слідкування та оцінки лісових пожеж на великих територіях. Використання вегетаційних індексів дозволяє отримати об'єктивну інформацію про зміни в рослинному покриві, пов'язані з пожежами. Це означає, що дослідження в цій області можуть привести до розробки нових технологій, алгоритмів та підходів, які поліпшать ефективність та швидкість виявлення пожеж.

Метою даної роботи є аналіз ефективності використання вегетаційних індексів, у виявленні та моніторингу лісових пожеж. Спостереження за лісовими пожежам за допомогою користувацьких супутників. Визначення зв'язку між змінами вегетаційних індексів та виникненням лісових пожеж.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити користувацькі супутники;
- провести аналіз змін після лісових пожеж;
- виявити проблеми лісових пожеж;
- навести дані щодо виникнення пожеж;
- знайти супутникові знімки лісових пожеж
- проаналізувати вегетаційні індекси, і їх використання

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес моніторингу лісових пожеж за допомогою супутникових знімків.

Предмет дослідження даної роботи є супутникові знімки з лісовими пожежами і аналіз використання вегетаційних індексів.

Методи дослідження: спостереження – за змінами рослинності під час і після пожежі; аналіз – проаналізовано та визначено зміни рослинного покриву після пожежі; порівняння – для виявлення змін після пожеж; дослідження – пошук інформації з поглибленим вивченням матеріалів згідно теми роботи; узагальнення – встановлення загальних властивостей, підведення підсумків роботи.

Практичне значення отриманих результатів даної роботи полягає у тому, що результати, висновки наведені у даній кваліфікаційній роботі мають важливе значення у супутникового моніторингу за лісовими пожежами, тому що цей процес має переваги у якості, швидкості і кількості оброблених даних. Використання вегетаційних індексів у супутниковому моніторингу дозволяє виявляти пожежі на ранніх стадіях та визначати їх інтенсивність. Це дає можливість швидко реагувати та направляти ресурси на гасіння пожеж, зменшуючи ризик поширення та збитків. Вчасне виявлення та моніторинг пожеж допомагає запобігти їх поширенню на цінні території та зберегти рідкісні види рослин і тварин. Використання супутникового моніторингу може допомогти покращити стратегії управління пожежною безпекою, зменшити втрати від лісових пожеж та сприяти збереженню природних ресурсів та біорізноманіття.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

- 1.1. Загальна характеристика лісів і види лісових пожеж.....9
 - 1.1.1. Торф'яні пожежи –небезпека і причини.....14
- 1.2. Причини виникнення лісових пожеж.....16
- 1.3. Масштаби лісових пожеж18

РОЗДІЛ 2. МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ

- 2.1 Природно-користувацькі супутники.....21
- 2.2. Досвід закордонної країни у моніторингу лісових пожеж за допомогою супутників.....31
- 2.3. Спектральні діапазони на космічних знімках38
- 2.4. Індекс NDVI.....41

РОЗДІЛ 3. СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

- 3.1. Картографування пожежі біля Чорнобильської зони із космосу.....47
- 3.2. Моніторинг лісових пожеж з використанням індексу NDVI.....53
- 3.3. Використання індексу NBR у моніторингу лісових пожеж.....57
- 3.4. Моніторинг і аналіз низових пожеж.....62

ВИСНОВКИ.....66

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....67

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

GPS — Global Positioning System – система глобального позиціонування

MODIS — Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA — National Aeronautics and Space Administration

VIIRS — Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

NIR — Near InfraRed (ближній інфрачервоний)

SWIR — Короткохвильове інфрачервоне випромінювання

USGS — Геологічна служба США (United States Geological Survey)

КА — Космічний апарат

RADR — Швидка аналітика для реагування на катастрофи

NOAA — National Oceanic and Atmospheric Administration

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

1.1. Загальна характеристика лісів і види лісових пожеж

Щороку у всьому світі стається приблизно 400 тисяч лісових пожеж, які призводять до серйозного пошкодження лісових ресурсів і знищують мільйони гектарів лісів. Ця площа становить 0,5 - 1% загальної площі лісів на Землі. Крім безпосередньої шкоди, завданої лісам, пожежі спричиняють значні викиди вуглекислого газу та інших продуктів згоряння деревини в атмосферу.

Лісові пожежі становлять приблизно 60% загальної кількості лісових угідь, що зазнають руйнівного впливу через негативну взаємодію людського втручання та природних факторів. Приблизно 10-20% річної площі, що займаються вогнем, перетворюються на повноцінні пожежні уражені ділянки, а решта постраждалих територій мають різний ступінь пошкоджень деревостанів.

Лісові масиви грають важливу роль в житті людства, а також у формуванні та функціонуванні екологічних систем на різних рівнях. Однією з ключових ролей, яку вони виконують, є підтримка підземного та інфільтраційного стоку на певному рівні. Збільшення лісистості басейнів річок на 10% призводить до підвищення їх водного стоку на 10-15 мм на рік, що зміцнює енергетичний потенціал річок.

Ліси відіграють важливу роль у розподілі води, в тому числі атмосферної вологи, місцевого випаровування та стоку води. Крім того, завдяки лісам послаблюються процеси водної ерозії ґрунту, що допомагає запобігти забрудненню річок та інших водойм.

Лісові смуги значно покращують бактеріологічні властивості води, що призводить до зменшення кількості бактерій у воді більше ніж в 20 разів.

Механізм захисної дії лісонасаджень, насамперед, полягає в регулюванні поверхневого польового стоку та переведенні його в ґрунтовий з наступним

поглинанням забруднюючих речовин землею і рослинністю та залученням їх до природного кругообігу речовин, детоксикації шкідливих хімічних сполук під впливом мікроорганізмів [1]

Ліси виконують важливу роль у збереженні та охороні ґрунтів. Вони допомагають запобігати змиванню та розмиванню ґрунту, підвищують його якість та зберігають його властивості. Крім того, лісові насадження допомагають закріплювати рухомі піски та запобігають утворенню ярів. Розвинута коренева система дерев допомагає виводити мінеральні поживні речовини на поверхню з глибоких шарів ґрунту, що сприяє підвищенню його родючості. Крім того, на схилах лісонасадження здатні поглинати рідкі та затримувати тверді стоки з вище розташованих ділянок.

Ліси є важливими для успішного ведення сільського господарства, оскільки вони затримують поверхневий стік і зменшують ерозію ґрунту, що може вплинути на врожайність полів. Крім того, ліси допомагають зменшити швидкість вітру, що дозволяє зменшити випаровування вологи з ґрунту і підвищує вологовміст поля, що в свою чергу може покращити врожайність рослин. У гірській місцевості ліси також виконують важливу протизсувну функцію, що допомагає зменшити кількість лавин і зсувів, які можуть пошкодити поля та сільське господарство.

Лісові екосистеми виконують не лише екологічні функції, але й мають значний вплив на здоров'я та благополуччя людей. За наявності лісу можливе покращення дихальних процесів, підвищення біострумів мозку та вмісту кисню в крові, що має позитивний вплив на загальний стан організму. Відпочинок у лісі може зняти фізичну та емоційну втому, підвищити креативність та знизити ризик захворювань. Наявність рослинності надає насолоду естетичними враженнями, які заспокоюють та піднімають настрій. Лікувальний вплив курортних лісів може бути корисним для людей з різними захворюваннями, такими як туберкульоз, бронхіальна астма, серцево-судинні хвороби та порушення обміну речовин.

Ліси, що розташовані в ярах та балках, мають коріння, яке зміцнює схили. Крім того, ліс відіграє важливу роль як кліматичний фактор. Завдяки лісам, клімат пом'якшується, а вологість повітря збільшується. У лісі різниця температури повітря може досягати влітку до 10 °С між кроною дерев та зовнішнім середовищем. Це призводить до того, що прохолодне та вологе повітря рухається з лісу на поле, зменшуючи негативний вплив посухи, суховіїв та пекучого сонця. Це особливо важливо для збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Вдень повітря нагрівається над полем, піднімається вгору та охолоджується, що сприяє зворотньому русі повітря з охолодженого поля в ліс. Таким чином, ліс допомагає знизити добову амплітуду коливань температури та вологості повітря та ґрунту.

Ліс має важливу роль у покращенні мікроклімату та зменшенні шкідливого впливу вітру. Відсутність дерев на землі протягом літнього періоду призводить до її перегрівання і висушення. Одне доросле дерево може випарувати 105*10 кДж (250 тис. ккал) води, що еквівалентно роботі 5 кімнатних кондиціонерів протягом 40 годин.

Зменшення лісових масивів призводить до збільшення кількості снігу, що накопичується в балках, ярах, заплавах річок та долинах, що у свою чергу збільшує глибину промерзання ґрунту.

Лісонасадження грають важливу роль у сільському господарстві, захищаючи поля від піщаних та чорних бур, суховіїв та покращуючи водний режим території, що сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур.

Лісовий рослинний покрив має велике і специфічне значення в боротьбі з забрудненням повітря, води та ґрунту. Окрім того, ліс виконує роль головного постачальника кисню та споживача вуглекислого газу. Важливо зазначити, що ліс є величезним механічним та біохімічним фільтром.

У середньому 1 га дерев виділяє за рік 4 т кисню і поглинає 5 т вуглекислого газу, 1 га соснового лісу 20-річного віку виділяє 7 т та поглинає 9 т. За годину така ділянка лісу поглине весь вуглекислий газ, що виділився при диханні майже 200 осіб.

Лісові масиви з їх різноманітністю ландшафтів, багатим рослинним і тваринним світом та природними пам'ятками, є природними скарбницями туристичного потенціалу. Вони стають привабливими місцями для відпочинку та відпрацювання, а також для здійснення різноманітних видів туризму, включаючи еко-, екстремальний, гірський та інші види. Крім того, ліси можуть бути використані для проведення кемпінгів, пікніків, спортивних заходів та інших заходів, що робить їх важливим рекреаційним ресурсом для людей. Однак, необхідно зберігати ліси як природний ресурс, використовуючи їх з урахуванням екологічних та соціальних наслідків, що можуть виникнути внаслідок їх експлуатації.

Лісові пожежі завдають величезної та непоправної шкоди екосистемам. Крім того, вони є загрозою для безпеки людей та майна. Причинами пожеж можуть бути не лише порушення протипожежних правил відпочиваючими та іншими людьми, але й природні фактори, такі як грози та блискавка, або людські дії, такі як недбале поводження з вогнем під час полювання або викорінення рослин. Лісові пожежі є серйозним екологічним проблемою, яка потребує відповідального ставлення до природних ресурсів та дотримання протипожежних правил. Основна причина виникнення лісових пожеж є порушення протипожежних правил відпочиваючими та іншими людьми, які перебувають у лісі.

За кілька хвилин вогнем знищується те, що виростало за кілька десятиріч. Пожежа завдає великої шкоди не тільки коли поширюється по землі і не переходить на крони дерев. При цьому горить лісова підстилка, гинуть корисні комахи і мікроорганізми. Вогнем послаблюються дерева. На них нападають шкідники, що призводить до їх загибелі.

Лісова пожежа представляє собою небезпечний та необережний процес горіння природних комплексів, який може завдати шкоди не лише флорі та фауні, але й суспільству, що проживає в прилеглих населених пунктах. Шляхом виключення найбільш поширених причин пожеж можна запобігти екологічній та економічній шкоді на території.

Лісові пожежі поділяються на низові, верхові та підземні, а також характеризуються класом пожежної небезпеки насаджень, географічним розташуванням лісів, класом пожежної небезпеки за погодними умовами.

Низові лісові пожежі — це пожежі, які виникають та поширюються в надземному та нижньому покриві (включаючи мохи, лишайники, трави, чагарники, деревні опали, лісову підстилку, вітролом та порубкові залишки). Залежно від краєвиду горіння та висоти полум'я, низові пожежі можна класифікувати як слабкі, середні та сильні.

Верхові лісові пожежі — відбуваються в кронному просторі лісових насаджень, в яких низовий вогонь розглядається як один із елементів верхової пожежі. Характерними ознаками верхових лісових пожеж є швидке поширення вогню по кронах дерев під час сильного вітру та значна швидкість розповсюдження пожежі, яка іноді може досягати 400-500 м/хв. Такі пожежі є небезпечними, оскільки вітер може розносити палаючі іскри та створювати нові осередки пожежі.

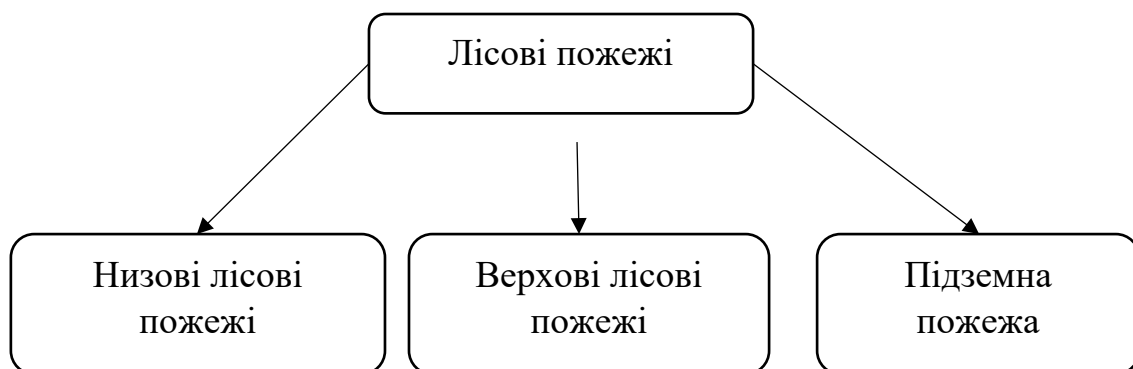


Рис. 1.1 Класифікація пожеж

Лісові пожежі за розмірами (площею) розподіляються на:

- невеликі лісові пожежі – пожежі площею до 5 га;
- великі лісові пожежі – пожежі площею від 5 до 200 га;
- особливо великі лісові пожежі – пожежі площею понад 200 га.

Підземна пожежа — це пожежі, які виникають внаслідок горіння торфових шарів ґрунту, не супроводжуючи полум'я. Цей тип пожежі зазвичай виникає у місцях з великими запасами торфу.

Найбільш небезпечними є верхові лісові пожежі. Щоб збиток був мінімальним, потрібно негайне гасіння пожежі. Тому в боротьбі з локалізацією лісового загоряння важливу роль відіграють ефективні засоби пожежогасіння [2].

1.1.1. Торф'яні пожежи –небезпека і причини

Торф'яні пожежі - це неконтрольований процес горіння торфу, який виникає через природні чи штучні засоби.

Україна стикається з серйозною проблемою масштабних торф'яних пожеж, які щороку трапляються. Ці пожежі найчастіше поширюються у місцях, де зосереджені великі торфові масиви. Більшість (80-90%) випадків торф'яних пожеж стаються через людський фактор, зокрема через недбале поводження з вогнем. Інші 10-15% пожеж можуть виникати внаслідок блискавок, транспорту, що проїжджає, або самозаймання торфу, яке спричиняється тепловими, хімічними і мікробіологічними процесами. Пожежі на торфовищах зазвичай поширюються на площі, значно менші, ніж лісові пожежі. Торф може горіти у будь-якому напрямку, незалежно від сили та напрямку вітру, і навіть під дощем або снігопадом горить під поверхнею ґрунту.

Внаслідок торф'яних пожеж можуть виникати надзвичайно небезпечні наслідки через випуск продуктів горіння та забруднення повітря. Під час таких пожеж значна кількість диму, токсичних газів та інших речовин викидається в атмосферу. Це створює великий ризик інтоксикації для мешканців, які проживають близько до місць загорянь або знаходяться в зоні задимлення.

Оскільки торф не горить, а тліє, під час пожежі на торфовищах утворюється величезна кількість диму. Густина цього диму може бути в декілька разів вищою, ніж нормальна густина повітря. Це призводить до того, що дим піднімається до верхніх шарів атмосфери та залишається на висоті від 2 до 5 метрів, що збігається з рівнем дихання людини.

Ці пожежі найчастіше виникають на місцях видобутку або знаходження торфу та пояснюються неправильним поведінням з вогнем, блискавками або самозайманням. Торф має властивість самозайматися при температурі, що перевищує 50 °С.

Торф'яні пожежі поширюються повільно, рухаючись лише на кілька метрів на день, і майже неможливо їх загасити. Вони характеризуються неочевидним краєм та небезпекою раптових вибухів вогню з-під землі. Якщо ви відпочиваєте на природі і відчуваєте характерний запах гару, помічаєте, що іноді просочується дим з-під землі і що земля над пожежею нагріта, це означає, що ви стикаєтесь з торф'яною пожежею. Торф вигорає зсередини, утворюючи порожнини, в які можна провалитися та постраждати від вогню. Температура всередині пожежі в торфі перевищує тисячу градусів.

Основним методом припинення підземних торф'яних пожеж є створення огорожувальних каналів навколо ураженої території. Саму пожежу припиняють шляхом перекопування та заливання великою кількістю води. Завдяки тому, що температура всередині горячого торфу перевищує тисячу градусів, вода, яка накриває зону горіння зверху, швидко випаровується і не досягає вогнища. Ліквідація торф'яної пожежі вимагає значних зусиль та великого обсягу води.

Продукти горіння торфу, які утворюються, є надзвичайно небезпечними для здоров'я людей, оскільки вони містять радіоактивні речовини та негативно впливають на екологічну ситуацію.

1.2. Причини виникнення лісових пожеж

Кожного року, людська безвідповідальність стає причиною стихійних природних лих, які мають серйозні негативні наслідки. Основні чинники, які спричиняють лісові пожежі антропогенного характеру, визначають стан і динаміку природно-господарських об'єктів. Ці чинники включають такі як недбалість у справах пожежної безпеки, зокрема розведення відкритого вогню, непогашені залишки багаття, кинутий недопалок або палаючий сірник, спалювання листя і сміття поблизу дерев або на торфовищах, викид матеріалу, який насичений горючими речовинами, сфокусовані осколками скла сонячні промені, а також навмисний підпал, який становить близько 30% випадків, та використання несправної техніки під час господарських робіт у лісі. Також варто враховувати природні фактори, хоча вони складають невеликий відсоток виникнення лісових пожеж. Ці фактори включають кліматичні умови, влучання блискавки (частіше під удар блискавки потрапляють дерева, що ростуть на височинах) та вулканічну діяльність.

Ось список можливих причин виникнення лісових пожеж:

1. Недбале поводження з вогнем: це може бути навмисний підпал, використання відкритого вогню без дотримання правил безпеки, незадовільне погашення кострища або запалення вогню для очищення території.
2. Помилки під час проведення лісових робіт: неправильне відведення та регулювання димових каналів, несправне обладнання, неправильна рубка або заготівля деревини.

3. Природні причини: блискавка може викликати пожежу без вини людини; також сильний вітер може переносити вогонь, який раніше був запалений на відкритій місцевості.
4. Невірне використання природних ресурсів: відкритий вогонь або іскри, що виникають від роботи машин та обладнання, можуть викликати лісову пожежу.
5. Переповнення звалищ сміття: звалища можуть стати джерелом запалення, якщо на них викидають вогнестійкі матеріали.

Це не вичерпний список, але ці причини є дуже поширеними і повинні бути відомими для того, щоб запобігти виникненню лісових пожеж.

Вогонь може швидко розростися і, підхоплений вітровим потоком, перетворитись у вогняний вал, який знищує все живе на своєму шляху та перетворює ліси в нежиттєздатні пустельні умови. Найбільш небезпечним періодом для виникнення лісових пожеж, з антропогенними та природними наслідками, є жаркі та сухі літні дні з відносною вологістю не більше 40 % [3].

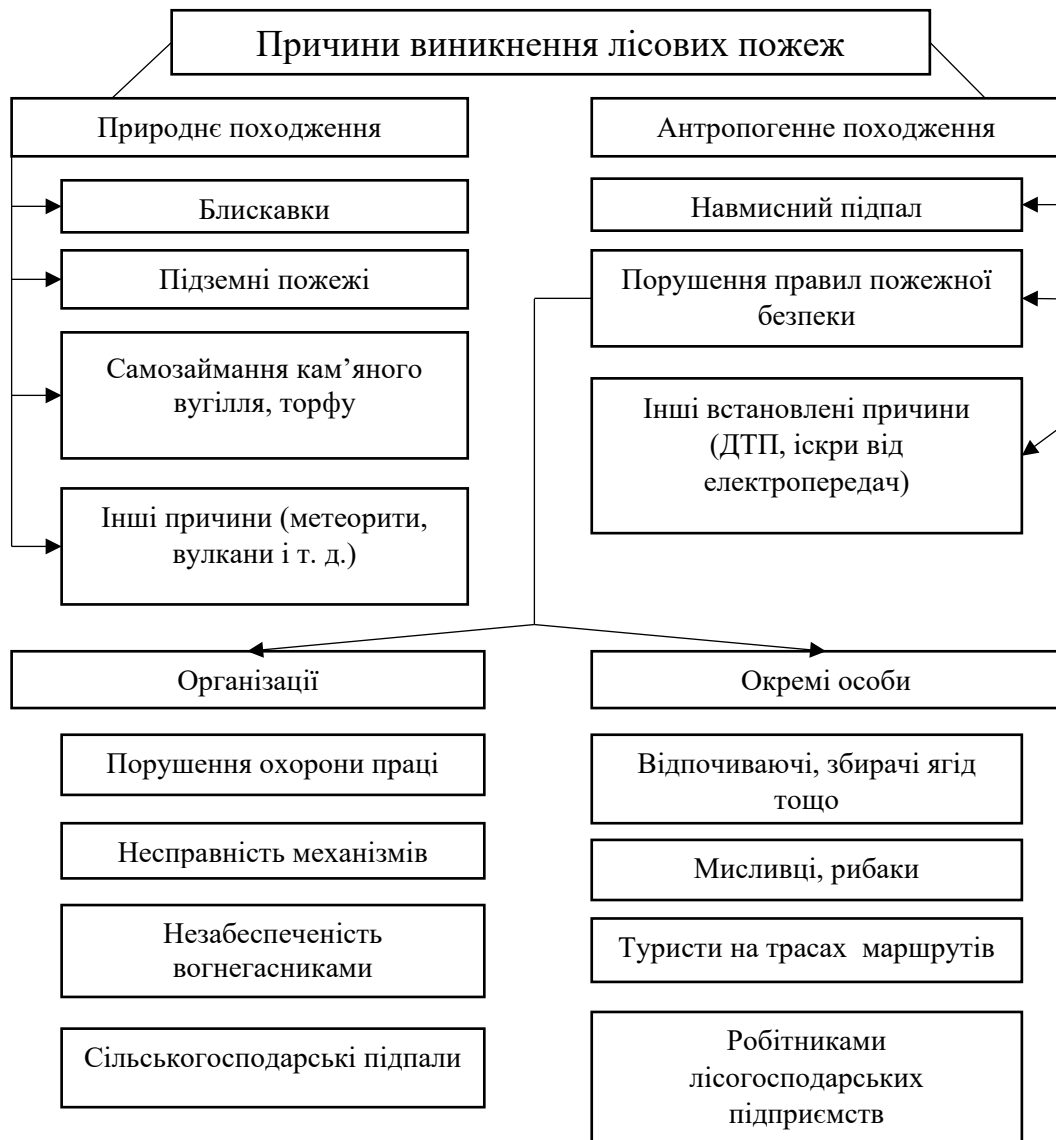


Рис. 1.2 Класифікація причин виникнення лісових пожеж

1.3. Масштаби лісових пожеж

Лісові пожежі є однією з найважливіших екологічних проблем, якій необхідно постійно приділяти багато уваги та намагатися ефективно її вирішувати. Це стихійне явище, що загрожує не тільки лісу, а і людям, існує в світі вже багато століть. Посилення антропогенного впливу на ліси та постійне освоєння нових лісових територій призвело до значного зростання їх кількості та площі .

У зв'язку з глобальним потеплінням та зростанням посушливості клімату,

загроза поширення та збільшення масштабів лісових пожеж постійно зростає. Незважаючи на те, що у світі активно використовуються сучасні технології прогнозування та супутникові системи виявлення займань у лісі, масштаби пошкоджень лісів вогнем зараз дуже великі.

Боротьба з лісовими пожежами стає все більш складною у країнах з великими територіями та низькою густотою населення. Навіть розвинених країнах іноді неможливо вчасно припинити масштабні пожежі, які знищують тисячі гектарів лісу та можуть перекинутись на населені пункти. Щороку виникає серйозна проблема, коли оголошується режим надзвичайного стану через великі лісові пожежі в окремих штатах. Площа таких катастрофічних пожеж перевищує 10 000 га, і їхня ліквідація займає кілька днів. Уряд Австралії також постійно повідомляє про великі пожежі, що охоплюють значну територію. Проблема не вирішена й у багатьох щільно населених країнах Європи. [12].

В лютому 2009 сталася найбільша та найстрашніша за наслідками природна пожежа в Австралії. Температура повітря перевищувала 40 °С, а ураганний вітер із швидкістю близько 120 км на годину сприяли розповсюдженню масових лісових пожеж на території штату Вікторія, які неможливо було загасити навіть із залученням пожежної авіації. Для локалізації пожежі великого масштабу, крім мобілізованих підрозділів Австралії, залучили протипожежні сили з США, Нової Зеландії та інших країн. Боротьба з вогнем тривала більше півтора місяця. Тільки у середині березня, з приходом дощової погоди, пожежу повністю взяли під контроль.

Наслідки пожежі були величезними та нагадували повідомлення з бойових дій: вогнем було пройдено 450 тис. га, 173 особи загинуло, 414 поранено, 7,5 тис. осіб були евакуйовані, майже 5,5 тис. будівель зруйновано вогнем, в тому числі більше 2 тис. житлових будинків. Загальні збитки досягли 4 млрд. доларів.

У 2011 році було зафіксовано значну кількість лісових пожеж у Західній Австралії, Непалі, Мексиці, США та в альпійському регіоні Європи, що є новим явищем. Ці приклади показують, що лісові пожежі приводять до дестабілізації екосистем лісів, негативно впливають на атмосферу на локальному та глобальному рівнях і становлять значний ризик для здоров'я та безпеки населення. Ці явища є дуже важливими з погляду охорони навколишнього середовища та потребують ефективних заходів для їх запобігання та боротьби з ними.

По світовій статистиці, кількість лісових пожеж зростає стійко та має тенденцію до збільшення протягом останнього десятиліття. Лісопожежна проблема виходить на новий, більш серйозний та невідомий рівень. Найбільш розвинені та країни з перехідною економікою не мають ефективного рішення для проблеми лісових пожеж, і це потребує постійної уваги, співпраці та координації на міжнародному рівні.

В останні роки в багатьох країнах Європейського союзу виникало більше 26 десятка тисяч випадків пожеж на значній площі. У зв'язку із сухим кліматом ситуація є особливо гострою у країнах Південної Європи. Хоча в Україні і намагаються серйозно боротися з пожежами, але через нестачу засобів та коштів, невчасне реагування та гасіння вогню повністю вирішити проблему не вдається [13]

РОЗДІЛ 2

МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ

2.1 Природно-користувацькі супутники

Супутники - це штучні об'єкти, які обертаються навколо планети або іншого космічного тіла. Вони використовуються для різних цілей, включаючи комунікацію, збір даних, спостереження, навігацію та наукові дослідження.

Супутники можуть бути розташовані на низьких, середніх або високих орбітах залежно від їхньої місії. Вони обладнані різноманітними приладами, сенсорами та інструментами для виконання своїх функцій. Збирання даних з супутників дозволяє отримувати інформацію про планету, спостерігати за змінами в природних системах, проводити дослідження клімату, досліджувати космос та здійснювати інші наукові та комерційні діяльності.

Супутники грають важливу роль у нашому суспільстві, надаючи нам доступ до широкого спектру послуг та інформації. Наприклад, супутники забезпечують супутникове телебачення, мобільний зв'язок, супутникову навігацію (наприклад, GPS) та спостереження Землі з космосу.

Термін "природно-користувацькі супутники" не має точного визначення або стандартного використання. Тому краще навести поняття по окремо.

Природознавчі супутники - це супутники, які використовуються для збору даних про природні процеси на Землі. Вони надають інформацію про клімат, лісові покриви, океани, атмосферу, ґрунти та інші складові довкілля. Ці дані використовуються для вивчення змін у природних системах, моніторингу кліматичних змін, прогнозування погоди, виявлення природних лих та інших наукових досліджень.

Користувацькі супутники - це супутники, які використовуються для комерційних цілей або для задоволення потреб певних галузей, таких як телекомунікації, навігація, земельне господарство, транспорт тощо. Ці супутники можуть надавати послуги, які поліпшують комунікації, забезпечують точну навігацію або допомагають в управлінні ресурсами.

Отже, "природно-користувацькі супутники" використовуються для збору даних про природні процеси та водночас задовольняють потреби користувачів у різних галузях. Вони можуть включати супутники, які надають дані про природні ресурси, лісові пожежі, кліматичні зміни та інші важливі аспекти довкілля для наукових, комерційних або управлінських цілей.

Для моніторингу лісових пожеж використовуються різні природно-користувацькі супутники. Ось декілька з них:

- MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): Це прилад, який знаходиться на супутниках Terra і Aqua. Він здатен реєструвати температуру поверхні Землі та виявляти великі пожежі.
- VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite): Він здатний виявляти дим, теплове випромінювання та інші ознаки лісових пожеж.
- Landsat: Серія супутників Landsat, таких як Landsat 7 і Landsat 8, забезпечують зображення високої роздільної здатності для виявлення пожеж, оцінки пошкоджень та моніторингу змін у лісовому покриві.
- Sentinel-2: Це європейська програма супутників, яка надає дані з високою роздільною здатністю для моніторингу лісового покриву, виявлення займань та оцінки пошкоджень.
- GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite): Супутники GOES, такі як GOES-16 та GOES-17, знаходяться на геостационарній орбіті і надають постійний знімок Землі. Вони

допомагають виявляти пожежі та спостерігати за ними в реальному часі.

Ці супутники надають цінну інформацію для виявлення, моніторингу та управління лісовими пожежами, що допомагає у вчасному реагуванні та зменшенні їх впливу на довкілля.

В цій кваліфікаційній роботі ми детальніше розглянемо супутники Sentinel і Landsat.

Sentinel-2

Sentinel-2, запущений у рамках програми Європейської комісії Copernicus 23 червня 2015 року, був розроблений спеціально для доставки великої кількості даних і зображень. Супутник оснащений оптико-електронним мультиспектральним датчиком зйомки з роздільною здатністю Sentinel-2 від 10 до 60 м у видимій, ближній інфрачервоній (VNIR) та короткохвильовій інфрачервоній (SWIR) зонах спектру, що включає 13 спектральних каналів, що забезпечує фіксацію відмінностей у стані рослинності, включаючи часові зміни, а також мінімізує вплив на якість фотозйомки атмосфери.

Орбіта має середню висоту 785 км, а наявність двох супутників у місії дозволяє проводити повторні дослідження кожні 5 днів на екваторі та кожні 2-3 дні в середніх широтах.

Дані Sentinel-2 забезпечують програму GMES (Глобальний моніторинг навколишнього середовища та безпеки), яку спільно впроваджують ЄС (Європейська комісія) та ESA (Європейське космічне агентство), пов'язані, наприклад, із землеустроєм, сільськогосподарським виробництвом і лісовим господарством, а також моніторингом стихійних лих і гуманітарних операцій.

Основні характеристики Sentinel-2 включають:

- Мультиспектральне спостереження: Sentinel-2 обладнаний мультиспектральною системою зображення, яка реєструє дані у

великому діапазоні кольорів. Він спостерігає у видимому, інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному спектрах, що дозволяє отримувати детальні зображення Землі та аналізувати їх для різних цілей.

- Висока роздільна здатність: Sentinel-2 має високу роздільну здатність, здатність розрізняти дрібні деталі на поверхні Землі. Його основна камера має роздільну здатність 10 метрів для багатьох спектральних каналів і 20 метрів для деяких інших каналів.
- Широкий покриття території: Sentinel-2 охоплює значні площі Землі, що дозволяє виконувати спостереження із великою областю покриття. Він здатен зображати до 290 кілометрів зображення на ширину.
- Висока частота оновлення: Зображення, отримані від Sentinel-2, можуть бути отримані з високою частотою оновлення, що дозволяє відстежувати зміни на поверхні Землі у часі. Це корисно для спостереження росту рослин, змін клімату, деградації лісів та інших процесів.
- Використання в науці та природоохоронних дослідженнях: Дані від Sentinel-2 використовуються в наукових дослідженнях та природоохоронних заходах для вивчення змін середовища, моніторингу лісів, водойм, сільськогосподарських угідь тощо.

Sentinel-2 є важливим інструментом для моніторингу Землі та збирання даних для різних ділянок науки, сільського господарства, природоохорони та інших галузей. Його дані доступні для використання відкритим способом, що сприяє глобальному співробітництву та дослідженням.

Таблиця 2.1.

Характеристика супутника Sentinel-2

Характеристика	Опис
Дата запуску	23 червня 2015 року
Космічний апарат	<p>Кожен із супутників SENTINEL-2 важить приблизно 1,2 тонни та розроблений для сумісності з малими ракетами-носіями.</p> <p>Тривалість експлуатації становить 7,25 років, включаючи 3 місяці введення в експлуатацію на орбіті. Батареї та паливо було надано з урахуванням 12 років експлуатації.</p> <p>Два ідентичних супутника SENTINEL-2 працюють одночасно, фазовані під кутом 180° один до одного, на сонячно-синхронній орбіті на середній висоті 786 км.</p> <p>Оптична конструкція телескопа MSI забезпечує 290-кілометрове поле зору</p>
Орбіта	<p>Подвійні полярно-орбітальні супутники на одній орбіті, фазовані під кутом 180° один до одного.</p> <p>Межі покриття знаходяться між широтами 56° на південь і 84° на північ.</p> <p>10 днів на екваторі з одним супутником і 5 днів з 2 супутниками в безхмарних умовах, тобто 2-3 дні в середніх широтах</p>
Датчики	Мультиспектральний інструмент (MSI)
Розрахунковий термін служби	7 років

Landsat

Супутники Landsat були запущені на орбіту в 1972 і 1975 роках. Додаткові супутники Landsat планується запуснути в 1978 і 1981 роках. Супутники обертаються навколо Землі на висоті приблизно 900 км, і кожен може отримувати повторюване покриття безхмарних областей кожні 18 днів. Сонце-синхронна орбіта використовується для забезпечення повторюваних умов освітлення. Повторюване супутникове покриття дозволяє визначити оптимальні умови покриття для геологічних застосувань.

Необхідно проаналізувати сезонні коливання сонячного освітлення, щоб вибрати найкращі дані Landsat для геологічних застосувань. Дані Landsat можна переглядати в стереофонічному режимі, якщо є достатній бічний відступ і достатній топографічний рельєф. Landsat-1 припинив роботу 10 січня 1978 року. Landsat-2 виявляє, лише сонячне випромінювання, яке відбивається від поверхні Землі у видимому та близькому діапазоні хвиль. Третій Landsat також буде виявляти випромінюване теплове випромінювання. Мультиспектральний сканер (MSS) був єдиним датчиком, який використовувався на перших двох супутниках. MSS на Landsat-1 і -2 виявляє випромінювання, яке відбивається від площі 79 м на 79 м, і дані формуються так, ніби вимірювання проводилися на площі 56 м на 79 м. MSS об'єднує спектральний відгук усіх типів покриття в межах 79 м на 79 м. Інтегрована спектральна сигнатура часто не схожа на спектральну сигнатуру окремих типів покриття, і інтегрована сигнатура також змінюється атмосферою.

Для отримання даних із супутника LDCM задіяно три наземні станції, розташовані в м. Су-Фолз (шт. Південна Дакота), у Свалбарді (Норвегія) та Гілмор-Крік (шт. Аляска). Глобальний архів даних Landsat містить покриття практично всієї поверхні Землі, причому деякі регіони знято багаторазово. Щодобово на ці станції надходить до 400 зображень Землі, які доступні користувачам протягом 24 годин.

Таблиця 2.2.

Технічні характеристики КА Landsat-8

Найменування	Landsat-8
Країна	США
Розробники	Orbital Sciences Corporation (OSC) (США; колиш. General DynamicsAdvanced Information Systems); Ball Aerospace (США)
Оператор	NASA, USGS (США)
Дата запуску	11.02.2013
Орбіта:	Сонячно-синхронна
висота, км	705
період обертання, хв	98,9
кількість витків на добу	14,6
час перетину екватора, година	10:05
Термін активного існування, років	5
Потужність, Вт	4300
Маса КА, кг	2623
Період повторного спостереження, доба	16

Таблиця 2.3.

Спектральні канали Landsat-8

Канал	Довжини хвиль, мкм	Роздільна здатність (розмір 1 пікселя)
Діапазони Operational Land Imager		
Канал 1 Прибережний / аерозольний (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0.433 – 0.453	30 м
Канал 2 – Синій (Blue)	0.450 – 0.515	30 м
Канал 3 – Зелений (Green)	0.525 – 0.600	30 м
Канал 4 – Червоний (Red)	0.630 – 0.680	30 м

Канал 5 - Близький ІЧ (Near Infrared, NIR)	0.845 – 0.885	30 м
Канал 6 - Близький ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1.560 – 1.660	30 м
Канал 7 - Близький ІЧ (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2.100 – 2.300	30 м
Канал 8 – Панхроматичний (Panchromatic, PAN)	0.500 – 0.680	15 м
Канал 9 - Перисті хмари (Cirrus, SWIR)	1.360 – 1.390	30 м
Діапазони TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 10 - Далекий ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10.30 – 11.30	100 м
Канал 11 - Далекий ІЧ (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11.50 – 12.50	100 м

Landsat-8 комбінація каналів

Канали 2, 3 і 4 (синій, зелений та червоний) представляють видиму частину спектра. Поєднання каналів "Природні кольори", що зазвичай використовуються у знімках, комбінує ці канали таким чином, щоб зображення виглядало так, як його бачить людське око. Далі ми змінимо комбінацію каналів знімків, щоб виділити пожежі та зробити їх контури більш помітними. Розглянемо деякі з них:

- Інфрачервоний колір

Дана комбінація будується з ближнього інфрачервоного, червоного та зеленого каналів (3, 4 та 5)

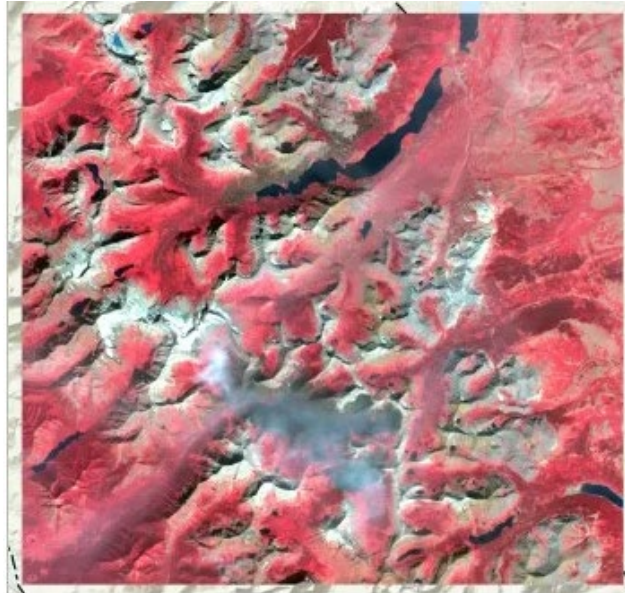


Рис.2.8. Космічний знімок в Інфрачервоному кольорі

На цьому знімку рослинність зображена червоним. Обидві області гару показані темно-коричневим. Порівняно з вихідним зображенням, гарі видно чіткіше, особливо Reynolds Creek на північ від озера. Але гар Thompson все ще заслонена димом. Тепер поекспериментуємо з комбінацією, що використовує Короткохвильові інфрачервоні канали (6 та 7), які проникають крізь хмари.

- Поверхня суші/води

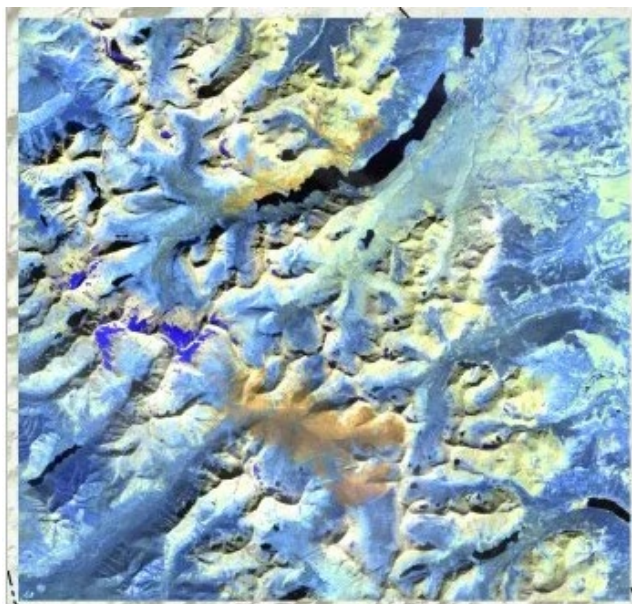


Рис. 2.8. Космічний знімок у комбінації «Поверхня суші/води»

Хоча основне призначення даної комбінації розмежовувати сушу та воду, вона також проникає крізь серпанок (у цьому випадку дим). Тепер на околицях гарі Thompson диму майже не видно, і її межі видно набагато чіткіше. Але території, що вигоріли, показані помаранчевим, а навколишні гірські схили – жовтим. Через це гар Reynolds Creek, яка поширена в горах, стало гірше видно.

- Аналіз рослинності

Ця комбінація використовує Червоний, Близький інфрачервоний і Короткохвильовий інфрачервоний канали 1 (4, 5, 6). Таким чином, тут поєднується виділення рослинності в Інфрачервоному кольорі та покращена проникність серпанку з комбінації каналів. Поверхня суші/Води. Хоча навколо гарі Thompson видно невеликий серпанок, а гар Reynolds Creek місцями зливається з гірськими схилами, ці проблеми не настільки критичні, як у попередніх комбінаціях.

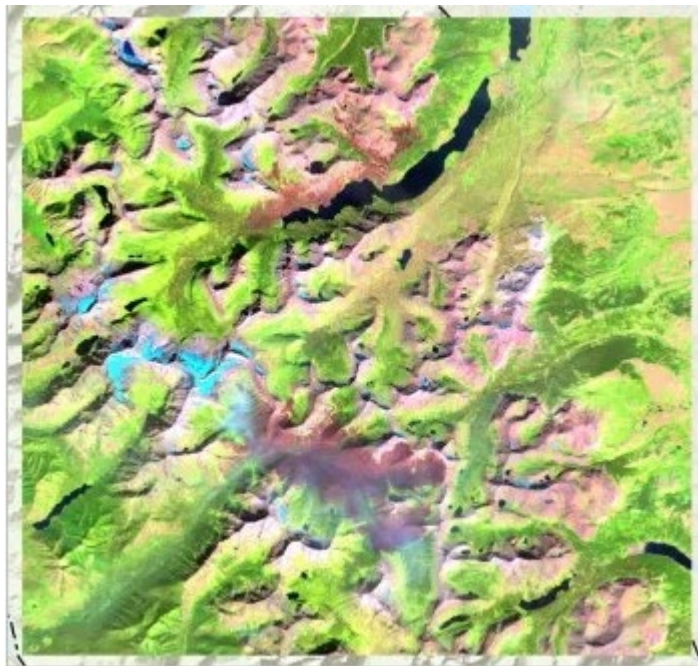


Рис.2.9.Космічний знімок у комбінації «Аналіз рослинності»

Якби можна було трохи зменшити серпанок, то таке зображення найкраще підійшло для оцифровки гарей. Але, жодна з запропонованих за замовчуванням комбінацій не зробить це краще, ніж вже переглянуті.

Основні галузі використання даних, отриманих з космічного апарату

Landsat-8:

- оновлення топографічної основи розробки проєктів схем територіального планування суб'єктів ;
- обґрунтування перспективних площ під пошукові роботи на нафту та газ, прогнозування та виявлення пасток нафти та газу, потенційна оцінка їхньої нафтогазоносності;
- моніторинг та прогнозування процесів заболочування та опустелювання, засолення, пожеж, повеней, паводків тощо.
- попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій;
- моніторинг довкілля.

2.2. Досвід закордонної країни у моніторингу лісових пожеж за допомогою супутників

Страшні наслідки глобального потепління включають посуху та надмірну експлуатацію землі в комерційних цілях, що призвело до значно більших масштабів лісових пожеж, їх частоти та екологічних наслідків. Щоб ці пожежі не становили загрози людям і тваринам, дуже важливо спостерігати за першими моментами після спалаху пожежі, щоб визначити її точне місце розташування, швидкість і напрямок поширення.

Однак пожежники на місцях не завжди можуть точно розрахувати ці фактори. Подібним чином, без якісних статистичних даних про розміри лісових пожеж і площі ураження вчені не можуть точно оцінити масштаби знищень від пожежі. Саме тут на допомогу приходять супутники, які використовують

інноваційні технології дистанційного зондування, щоб забезпечити рентабельне та своєчасне вирішення цих проблем, рятуючи життя та землю.

У 2021 році в США вигоріли сотні тисяч гектарів. Дійсно, за даними Національного міжвідомчого протипожежного центру, лише цього року через нагальну небезпеку зміни клімату понад 80 великих лісових пожеж спалили понад 1,3 мільйона акрів у 13 штатах, а додаткові пожежі спалахують майже щотижня. Отже, як саме починаються ці пожежі?

З 7 по 9 березня супутники Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) спостерігали за різними лісовими пожежами на південних рівнинах, виявивши, що ці пожежі частково спалахнули природним шляхом через надто спекотні сухі умови. Однак деякі з цих пожеж також спалахнули через встановлені спалювання, які використовуються для управління ландшафтами та екосистемами. Лісова служба повідомляє про кілька переваг рекомендованих спалень, таких як захист людей від екстремальних пожеж, покращення середовища проживання видів, що перебувають під загрозою зникнення, а також сприяння росту дерев, польових квітів та інших рослин. Незважаючи на це, незалежно від типу пожежі, відстеження лісових пожеж є ключовим для запобігання втраті контролю.

Окрім втрати контролю, є кілька причин, чому важливо відстежувати лісові пожежі з космосу. Наприклад, розуміння того, як дим поширюється в атмосфері, має вирішальне значення для якості повітря, видимості та здоров'я людини.

Такі супутники, як Terra, можуть інформувати пожежників про рух і густоту диму на піку лісової пожежі. На цьому супутнику проти лісових пожеж встановлено багатокутний спектрометр, який використовує дев'ять фіксованих камер для спостереження за Землею під різними кутами. MISR може вимірювати рух і висоту стовпа диму від пожежі, а також об'єм частинок диму, що походять від пожежі, щоб визначити склад стовпа диму. Він також

може контролювати, чи висота стовпа диму перевищує «приповерхневий прикордонний шар», де найчастіше концентрується забруднення. Коротше кажучи, вимірювання диму за допомогою супутників виявлення лісових пожеж може допомогти гасінню пожеж з повітря.



Рис. 2.2 Зведене зображення лісових пожеж, зроблене супутником NASA Terra 7 грудня 2017 року, лісові пожежі в Каліфорнії

На додаток до вимірювання поведінки диму, дистанційне зондування з супутників лісових пожеж може допомогти лісовим менеджерам визначити згорілу ділянку, класифікувати ступінь тяжкості опіку та оцінити загальну згорілу площу. Ці вимірювання можна отримати для безлічі пожеж, щоб визначити місце пожежі, тривалість, розмір, температуру та вихідну потужність, дані, які інакше були б недоступні. Історично так склалося, що метеорологи змирилися з використанням зображень із низькою роздільною здатністю, які оновлювалися кожні 15 хвилин і яким зазвичай було 20 років на момент зв'язку з синоптиком. Сьогодні супутники виявлення лісових пожеж можуть ідентифікувати пожежі ще до того, як їх помітять на землі, що часто відбувається за 10-15 хвилин до надходження екстреного виклику.

Тепер, коли ми краще розуміємо, чому моніторинг лісових пожеж такий важливий, давайте коротко розглянемо історію дистанційного зондування.

У січні 1980 року вперше виявили невелику лісову пожежу в Перській затоці. Це зображення було зроблено інструментом Advanced Very-High-Resolution Radiometer (AVHRR) на супутнику NOAA-6 і зображено спалахи розміром з багаття в результаті спалювання метану в нафтових свердловинах.

Зрештою розробили математичний метод, який допомагає відрізнити невеликі пожежі від інших джерел тепла, а технологія, розроблена через AVHRR, стала джерелом розробки першого приладу зі спектральними смугами, призначеними для відстеження лісових пожеж.

У 1999 році на супутнику Terra був запусканий спектрорадіометр НАСА з помірною роздільною здатністю (MODIS) для створення супутникової карти вогню файлів і шрамів від опіків з більшою точністю, ніж у AVHRR. Відтоді розвиток космічних технологій стрімко зростає до 2014 року, коли було розроблено Швидку аналітику для реагування на катастрофи (RADR).

RADR використовує технологію отримання зображень із супутників лісових пожеж, літаків, дронів, штучного інтелекту та хмарних обчислень для оцінки впливу стихійних лих. Цей інструмент може виявляти лісові пожежі на трасі та їх межі кілька разів на день, пов'язуючи вплив і ризик пожежі зі спорудами, підстанціями та будь-якою іншою критичною інфраструктурою, що знаходиться в навколишньому ландшафті. RADR особливо корисний, коли команди аварій не можуть точно відстежити розмір лісової пожежі та її розташування, оскільки ці зображення дистанційного зондування можуть потім аналізуватися персоналом служби підтримки для створення супутникових карт лінії пожежі.

У поєднанні з літаками, великі глобальні угруповання супутників забезпечують загальний огляд лісових пожеж із космосу, що може інформувати

пожежники про рішення на землі, наприклад, де розташувати національні активи, коли існує висока конкуренція за пожежників, танкери, літаки.

Як згадувалося раніше, супутники досить часто виявляють лісові пожежі та спостерігають за ними до того, як їх виявлять на Землі, особливо у віддалених регіонах. Це досягається за допомогою видимих та інфрачервоних датчиків на супутниках із високою роздільною здатністю для спостереження за лісовими пожежами. Діапазони ближнього інфрачервоного (NIR), середнього інфрачервоного та теплового діапазонів можуть виявляти зміни стану рослинності під час прогресування пожежі, що робить їх важливими для підтримки методів управління лісами під час піку пожежі.

Щоб виміряти серйозність опіків, вчені використовують нормалізований коефіцієнт горіння (NBR), який ідентифікує області, спектр яких значно змінився внаслідок лісових пожеж. NBR розраховується з використанням енергії з ближнього інфрачервоного та короткохвильового інфрачервоного (SWIR) діапазонів довжин хвиль, отриманих із супутникових зображень дистанційного зондування.

Для обчислення NBR потрібно зробити два супутникових зображення лісової пожежі однієї області: головне та підпорядковане зображення. Основне зображення захоплюється найближчим часом до спалаху пожежі, а допоміжне зображення захоплюється останнім часом після головного зображення. Обчислення NBR як для основного, так і для підпорядкованих зображень дає змогу пожежникам визначити загальну площу згоряння, а також зони, які найбільше постраждали.

Нормалізований Коефіцієнт Вигорання (NBR) - цей вегетаційний показник використовується для визначення зон, які постраждали від пожежі. Розрахунок NBR залежить від вимірювань у двох інфрачервоних діапазонах: ближньому і короткому. Здорова рослинність має високу відбивність у

ближньому інфрачервоному діапазоні, тоді як знищена пожежею територія відображається краще в короткому інфрачервоному діапазоні.

Для розрахунку цього показника використовують растровий знімок, отриманий з каналів ближнього і короткого інфрачервоного діапазонів спектра, наприклад з супутників Landsat-7, Landsat-8 або MODIS. Значення NBR можуть варіюватися від +1 до -1.

$$NBR = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (2.1)$$

Де NIR - ближній інфрачервоний діапазон.

SWIR - короткохвильовий інфрачервоний діапазон.

Останнім часом вегетаційний індекс NBR набув особливого значення, оскільки екстремальні погодні умови все частіше спричиняють пожежі, що завдають шкоди лісовим масивам. Зазвичай NBR використовується в сільському господарстві та лісовому господарстві для виявлення пожеж, аналізу інтенсивності вогню, а також моніторингу вегетації, яка вижила після катастрофи.

Для відстеження лісових пожеж існує два основних типи супутників:

- Полярні орбітальні апарати, які забезпечують детальний огляд вогню та диму в усьому світі до двох разів на день (наприклад, Terra, Aqua, NASA-NOAA Suomi NPP)
- Геостационарні супутники, які обертаються навколо Землі в екваторіальній площині протягом 24 годин, з тією ж швидкістю, з якою обертається Земля, і тому залишаються на фіксованій довготі над екватором. Це дозволяє 5-хвилинне повторне зображення частини земної кулі. Однак ці зображення

мають більш грубу просторову роздільну здатність, ніж полярні орбіти.



Рис. 2.3. Графічний космічний корабель NOAA-N на полярній орбіті

Ось приклад одного з супутників лісової пожежі, який обертається навколо нашої Землі.

ASTER, або Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, приєднаний до супутника NASA Terra для відстеження лісових пожеж шляхом картографування та моніторингу летючих поверхонь планет. Здатність ASTER забезпечувати широке спектральне покриття допомагає вченим і пожежникам на землі створювати супутникові карти пожеж, які є ключовими для розуміння та відстеження постійно мінливих умов лісової пожежі.



Рис. 2.4 Композитне зображення від інструменту Advanced Spaceborne Thermal mission and Reflection Radiometer (ASTER) 21 жовтня 2017 року лісових пожеж, що наростають у Північній Каліфорнії.

2.3. Спектральні діапазони на космічних знімках

Дистанційні супутникові сенсори можуть бути налаштовані на виявлення невидимих для людського ока довжин хвиль світла. Кожен спектральний канал відповідає певному діапазону довжин хвиль, які передають інформацію про конкретну характеристику об'єкта. Поєднання зображень у видимому спектрі з різними спектральними каналами дозволяє візуалізувати об'єкти, які інакше було б складно виявити. Наприклад, у середньому інфрачервоному діапазоні можна відобразити вміст вологості в рослинах, лісовому покриві та ґрунті. З іншого боку, для оцінки здоров'я рослин краще використовувати ближній

інфрачервоний діапазон, оскільки здорові рослини мають більш яскраве відображення саме в цьому спектрі.

Можна візуалізувати коефіцієнт відбиття світла в різних спектральних діапазонах у вигляді кривої спектрального відгуку на графіку. Цей графік дозволяє відображати інтенсивність відбиття одного й того ж елементу або об'єкта в різних спектральних діапазонах. Наприклад, водні поверхні сильно відбивають світло в видимому спектрі, але майже не відбивають його в ближньому інфрачервоному діапазоні. Графік відображення матиме сплеск у червоному, зеленому і синьому діапазонах спектру, а різкий спад буде спостерігатися при вході в ближній інфрачервоний діапазон.

Інфрачервоний і ультрафіолетовий спектральні діапазони можуть використовуватися, зокрема, для вимірювання вмісту хлорофілу в рослинах і відстеження лісових пожеж. Сучасні радіолокаційні датчики здатні створювати детальні тривимірні моделі Землі незалежно від рівня хмарності. Це дозволяє точніше виявляти зміни в елементах поверхні.

Давайте розглянемо один із найпоширеніших спектральних діапазонів на космічних знімках.

- Канал "Узбережжя та аерозолі" (Coastal/Aerosol, New Deep Blue) був створений для визначення мілководдя, вимірювання зміни кольору океану і виявлення дрібних аерозольних часток в атмосфері.
- Спектральний діапазон червоного, зеленого і синього (Red, Green, Blue) охоплює видимий спектр з довжиною хвилі від 400 до 700 нм. Використання цих каналів у поєднанні з іншими спектральними діапазонами дозволяє візуалізувати деталі, які звичайно не помітні людському оку.
- Комбінація червоного, зеленого і синього каналів утворює панхроматичний канал (Pan), який охоплює усі кольори видимого спектру. Зображення в панхроматичному каналі зазвичай є чорно-білим і

має вищу роздільну здатність порівняно з іншими спектральними каналами. Комбінування панхроматичного каналу з будь-яким іншим спектральним діапазоном додає більше різкості і виокремлює більше деталей.

- Близькій інфрачервоний діапазон (NIR) виходить за межі видимого червоного діапазону і має сильну відбивну здатність від листя та крони здорових рослин. Він ідеально підходить для моніторингу рослин і визначення водних об'єктів.
- Зображення, зроблені в діапазоні перистих хмар (Cirrus), дозволяють бачити високо розташовані хмари, які зазвичай не видно в більшості інших спектральних діапазонах.
- Використання далекого інфрачервоного діапазону (LWIR) (довгохвильова інфрачервона область від 8 до 14 мікрон) дозволяє виявляти тепло, випромінюване земною та водяною поверхнями. Це дозволяє виміряти температуру цих поверхонь. Два спектральних діапазони каналу Landsat-8 знаходяться в довгохвильовій інфрачервоній області, що дозволяє вимірювати температуру: TIRS 1 (10,6 - 11,19 мкм) і TIRS 2 (11,50 - 12,51 мкм).

Спектральні діапазони можна по-різному комбінувати залежно від об'єкта, який необхідно виділити на зображенні. Оскільки людське око сприймає лише видимий діапазон, більшість зображень складаються з комбінацій червоних, зелених і синіх каналів, що імітують видимий спектр. Ця комбінація спектральних діапазонів називається "істинним" або "природним" кольором.

Коли потрібно виділити конкретний елемент поверхні на зображенні, використовуються спектральні канали, які знаходяться вище або нижче видимого діапазону. Необроблені дані підлягають обробці для зменшення шуму на зображенні. Це призводить до створення "фальшивого" кольорового зображення, на якому можна виділити такі характеристики, як здорова

рослинність, хмари, вологість ґрунту, точки загоряння та інші особливості. За допомогою спеціально розроблених математичних алгоритмів можна виміряти ці виділені характеристики для отримання кількісних даних.

Для поліпшення точності даних, отриманих з комбінації різних спектральних діапазонів, можна застосувати перетворення знімку за допомогою коефіцієнтів і створити спектральний індекс.

2.4. Індекс NDVI

Індекс — визначається як відношення значень між різними спектральними діапазонами для вимірювання коефіцієнта відбиття певного об'єкта.

NDVI (Нормалізований індекс рослинності) і EVI (Розширений індекс рослинності) – це індекси, які зазвичай використовують для вимірювання здоров'я рослинності. Інші індекси вимірюють ступінь тяжкості опіку, наявність певних мінералів, щільність снігу, рівень водного стресу і багато іншого.

Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) кількісно оцінює рослинність, вимірюючи різницю між ближнім інфрачервоним (яке рослинність сильно відбиває) і червоним світлом (яке рослинність поглинає).

NDVI завжди коливається від -1 до +1. Але не існує чіткої межі для кожного типу ґрунтового покриття. Наприклад, якщо ви маєте від'ємні значення, дуже ймовірно, що це вода. З іншого боку, якщо значення NDVI близьке до +1, є велика ймовірність, що це густе зелене листя. Але коли NDVI близький до нуля, то, швидше за все, зеленого листя немає, і це може бути навіть урбанізована територія.

Як показано нижче, у формулі нормалізованого індексу різниці рослинного покриття (NDVI) використовується NIR та червоний канали.

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (2.2)$$

Здорова рослинність (хлорофіл) відбиває більше ближньої інфрачервоної (NIR) та зеленої зони порівняно з іншими довжинами хвиль. Але вона поглинає більше червоного і синього світла.

Ось чому наші очі бачать рослинність зеленим кольором. Якби ви могли бачити ближній інфрачервоний діапазон, то він був би сильним і для рослинності. Супутникові сенсори, такі як Landsat та Sentinel-2, мають необхідні діапазони - інфрачервоний та червоний.

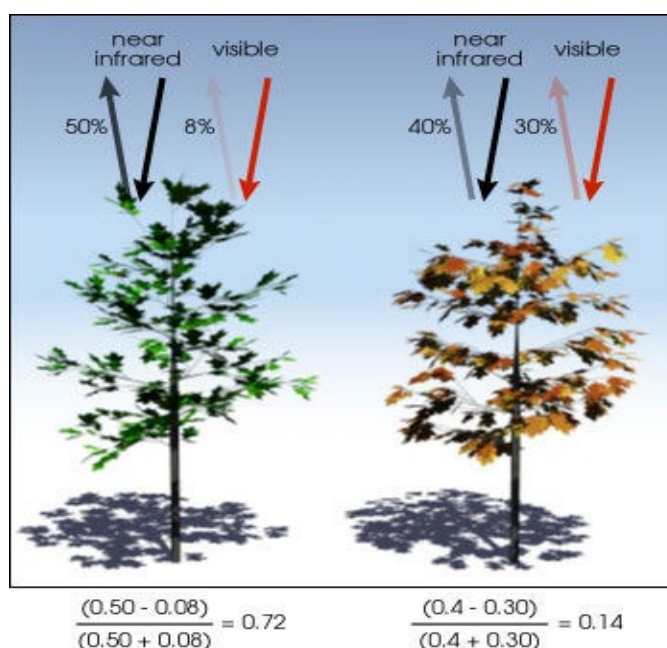


Рис. 2.10. Приклад формули NDVI

Результат цієї формули генерує значення від -1 до +1. Якщо у вас низький коефіцієнт відбиття (або низькі значення) в червоному каналі і високий коефіцієнт відбиття в інфрачервоному каналі, це дасть високе значення NDVI. І навпаки.

Загалом, NDVI є стандартизованим способом вимірювання здорової рослинності. Коли ви маєте високі значення NDVI, ви маєте здоровішу рослинність. Низькі значення NDVI означають, що рослинності менше або вона взагалі відсутня. Як правило, якщо ви хочете побачити, як рослинність змінюється з часом, вам доведеться виконати атмосферну корекцію.

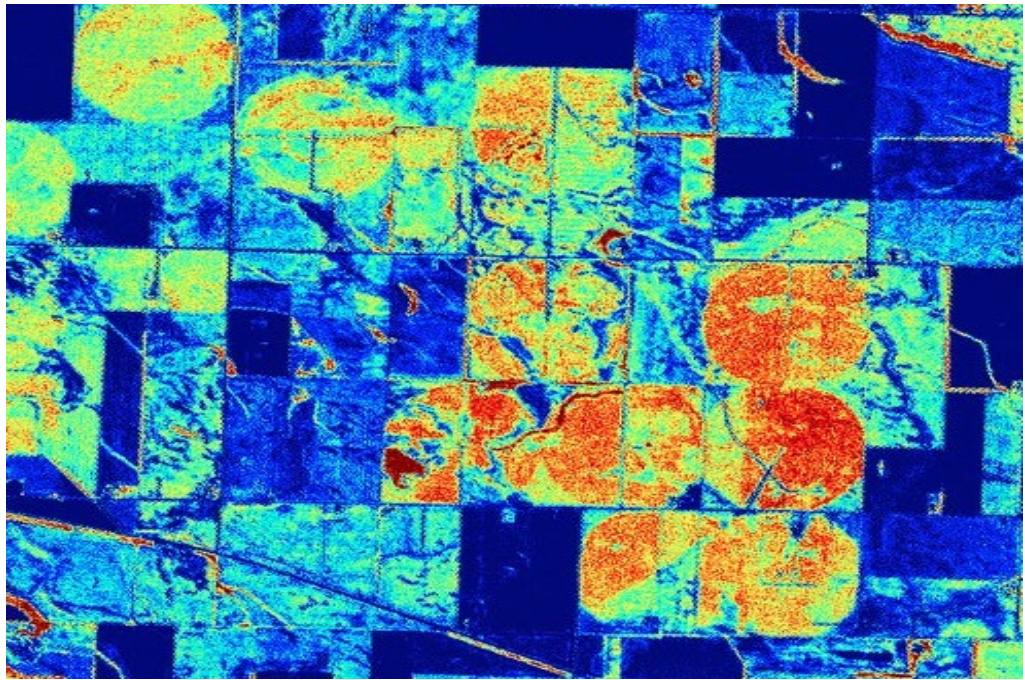


Рис. 2.11. На цьому зображенні сільськогосподарських полів NDVI червоні зони позначають більш здорову рослинність.

NDVI можна використовувати для оцінки щільності та стану лісів, а також для моніторингу змін у лісовому покриві з часом. Це може допомогти визначити ділянки лісу, які можуть зазнати стресу або пошкодження через шкідників, хвороби чи інші фактори. NDVI також можна використовувати для оцінки біомаси та потенціалу поглинання вуглецю в лісах. NDVI можна використовувати для моніторингу стану лісів на великих територіях шляхом виявлення змін у рослинному покриві, таких як зміни в покриві пологів, індекс площі листя та біомаса.

NDVI можна використовувати для виявлення змін у структурі лісу, таких як зміни щільності дерев, а також для визначення зон відновлення лісу. NDVI також можна використовувати для моніторингу впливу методів ведення лісового господарства, таких як суцільні рубки, проріджування або встановлені спалювання, на ріст і здоров'я лісу.

Значення NDVI можна використовувати для визначення областей, які добре відновлюються завдяки управлінським практикам, і для виявлення

областей, які також не відновлюються. Зі збільшенням використання БПЛА дані NDVI можна отримувати частіше, економніше та ефективніше.

NDVI можна отримати із супутникових зображень, які забезпечують синоптичне зображення земної поверхні через рівні проміжки часу. Супутникові датчики, такі як Landsat, Sentinel-2 і MODIS, вимірюють коефіцієнт відбиття рослинності в різних діапазонах довжин хвиль, які можна використовувати для розрахунку NDVI.

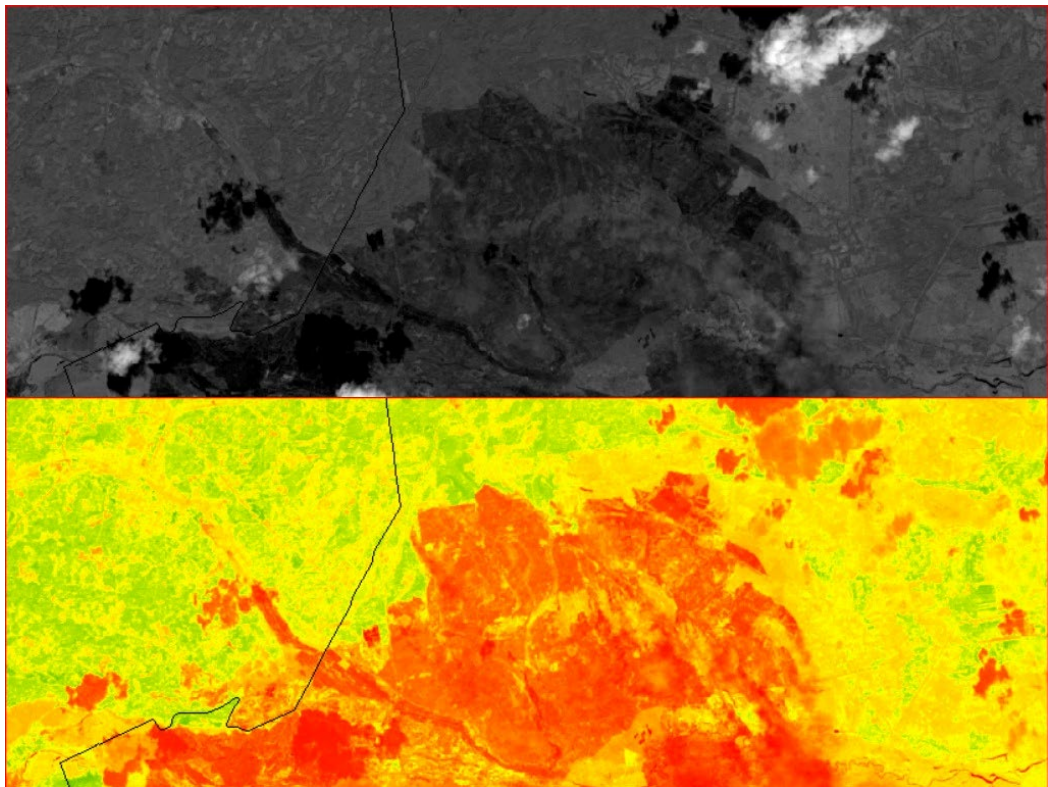


Рис. 2.12. Порівняння вихідного зображення та розрахованого індексу NDVI

NDVI чутливий до коливань атмосферних умов, таких як хмари, серпанок і аерозолі, які можуть впливати на відбивання світла у видимому та ближньому інфрачервоному (NIR) діапазонах. Це може призвести до помилок у значеннях NDVI і ускладнити точну інтерпретацію зображень NDVI.

Ще одним обмеженням NDVI є те, що він не може розрізняти різні типи рослинності або різні стани здоров'я рослинності. Значення NDVI можуть бути подібними для різних типів рослинності, таких як дерева та кущі, і значення NDVI також можуть бути подібними для здорової та стресової рослинності.

На NDVI також можуть впливати характеристики датчика, такі як просторова роздільна здатність, спектральна роздільна здатність і радіометрична роздільна здатність, які можуть впливати на значення NDVI.

Значення NDVI від різних датчиків або різних діапазонів можуть не порівнюватися безпосередньо, і на значення NDVI можуть впливати характеристики датчика. На NDVI також може впливати кут сонця, на значення NDVI може впливати кут сонця, а значення NDVI можуть змінюватися залежно від часу доби або пори року, коли отримані зображення. Це може ускладнити порівняння значень NDVI на різних зображеннях або виявлення змін у рослинному покриві з часом.

Існує декілька ресурсів, на яких можна знайти карти та знімки з NDVI.

Наприклад:

- NASA Earth Observatory - на цьому сайті можна знайти багато зображень зроблених з космосу, включаючи знімки з NDVI. Сайт містить статті, зображення та інформацію про події, які відбуваються на Землі.
- USGS Earth Explorer - це безкоштовна платформа, яка дозволяє користувачам шукати, переглядати та завантажувати зображення з космосу, включаючи знімки з NDVI.
- Sentinel Hub - це онлайн-платформа для обробки зображень, що надходять від супутників Copernicus. Сервіс дозволяє користувачам використовувати NDVI для візуалізації інформації про рослинність.
- MODIS - це система супутникового зондування Землі, яка збирає дані з NDVI та інших показників рослинності. Ця інформація доступна на сайті NASA.

Ці ресурси можуть бути корисними для вивчення NDVI та використання його для моніторингу лісових пожеж.

Також є такі індекси як:

- NBR(Нормалізований Індекс Коефіцієнта Випалювання), стандартизований індекс коефіцієнта випалювання NBR використовує канали NIR і SWIR для виділення випалених областей, одночасно приглушаючи різницю в освітленні і атмосферних явищ.
- NDWI (Індекс нормованої різниці води) використовує відбите ближнє інфрачервоне випромінювання та видиме зелене світло для підвищення видимості водних ознак і одночасного приглушення сигналів, пов'язаних з ґрунтовою і наземною рослинністю. Дослідники також вважають, що NDWI може служити оцінкою каламутності водних об'єктів на основі цифрових даних дистанційного зондування.
- EVI (ПОКРАЩЕНИЙ ІНДЕКС РОСЛИННОСТІ), інтенсивний індекс рослинності EVI є «оптимізованим» індексом рослинності, розробленим для поліпшення сигналу рослинності з підвищеною чутливістю в регіонах з високою біомасою і поліпшеним моніторингом рослинності.

РОЗДІЛ 3

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

3.1. Картографування пожежі біля Чорнобильської зони із космосу

У зв'язку зі спалахом лісових пожеж, які загрожували закритій Чорнобильській АЕС в Україні, була активована Служба картографування надзвичайних ситуацій Copernicus, і супутникова місія Copernicus Sentinel-2 зробила зображення вогню та диму, а також склала карту вигорілої землі.



Рис. 3.1. Початок пожежи у Чорнобильській зоні



Рис.3.2. Пожежа у Чорнобильській зоні

На щастя, тодішній сильний дощ погасив більшу частину вогню. Тим не менш, українська влада повідомляла, що понад 500 пожежників, 124 пожежні машини та кілька гелікоптерів працювали над локалізацією тління.

У 1986 році на ядерному майданчику стався катастрофічний збій, який поширив радіоактивні опади по всій Європі. Побоювання полягали в тому, що пожежі можуть охопити недіючий ядерний реактор і сховище радіоактивних відходів, а також що може виникнути ризик підвищеної радіації внаслідок спалювання забрудненого лісу та ґрунту.

Пожежі навколо Чорнобиля є сезонним явищем, але того року вони були гіршими, ніж зазвичай, через м'яку зиму та весну, через які лісова підстилка була сухою. Супутники є ключовими для спостереження за такими вразливими регіонами, як цей.

У представлених рисунках використовуються зображення з Sentinel-2, щоб показати ситуацію до пожеж 7 квітня, а потім 12 квітня. Зображення, зроблене 12 квітня, є одним із отриманих знімків, але було оброблено, щоб показати дим від пожеж, а потім вигорілу територію крізь дим.

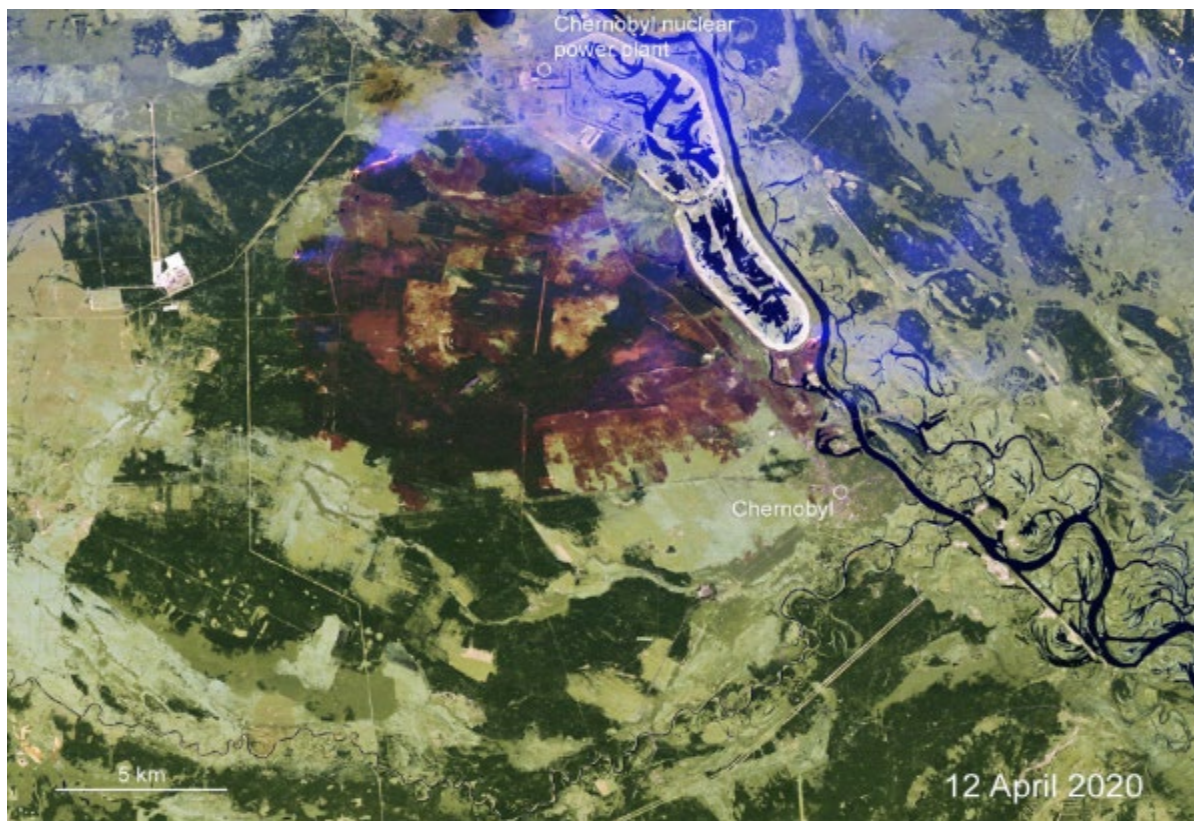


Рис. 3.3. Оброблене зображення пожежі

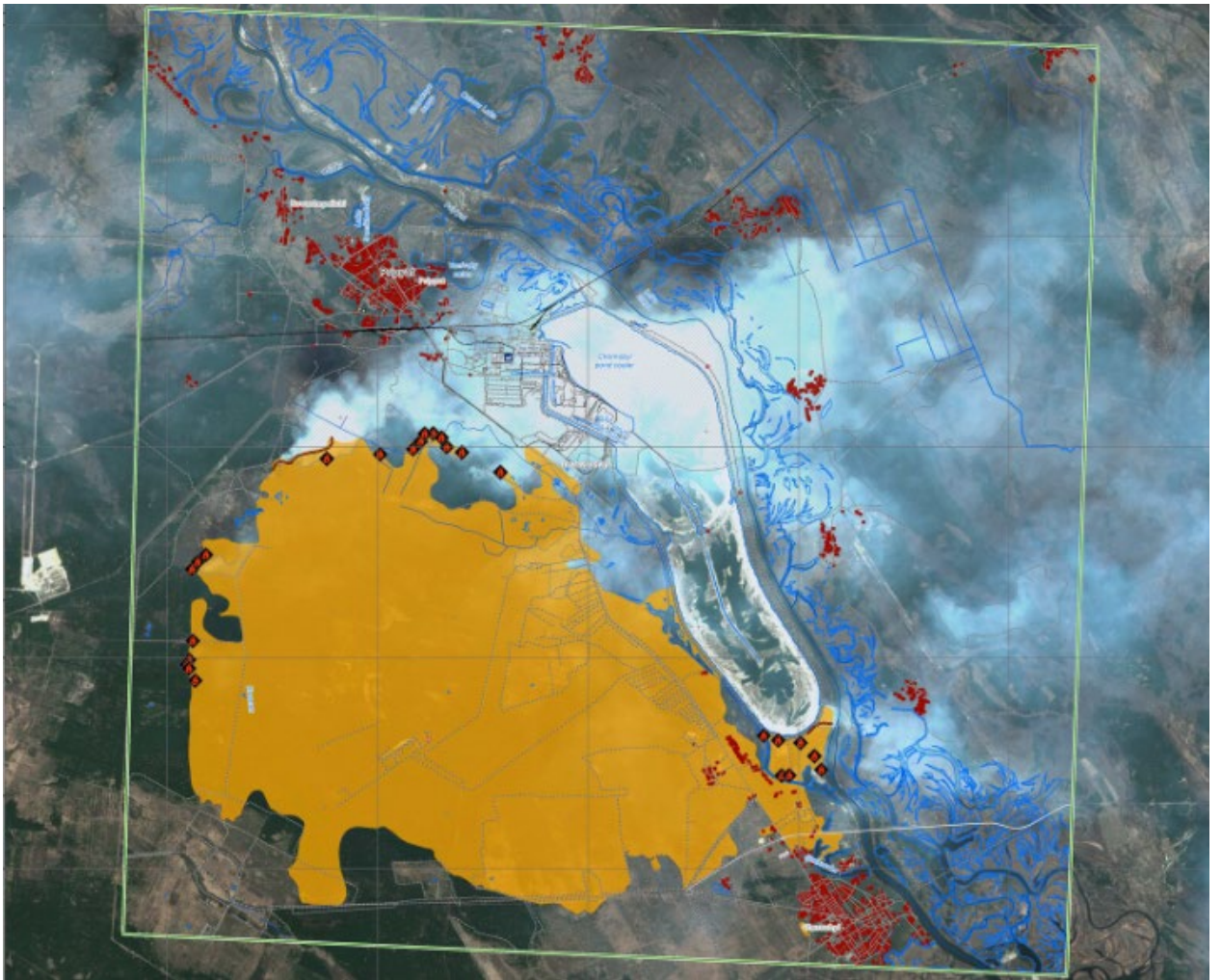


Рис. 3.4. Карта вигорілої території біля Чорнобильської зони

Цю карту створено Службою управління в надзвичайних ситуаціях на основі зображення, отриманого 12 квітня 2020 року з супутника Copernicus Sentinel-2. На карті показана вигоріла територія навколо Чорнобильської АЕС в Україні після спалаху лісових пожеж. Служба управління надзвичайними ситуаціями була активована 14 квітня 2020 року, щоб допомогти у реагуванні на пожежі.

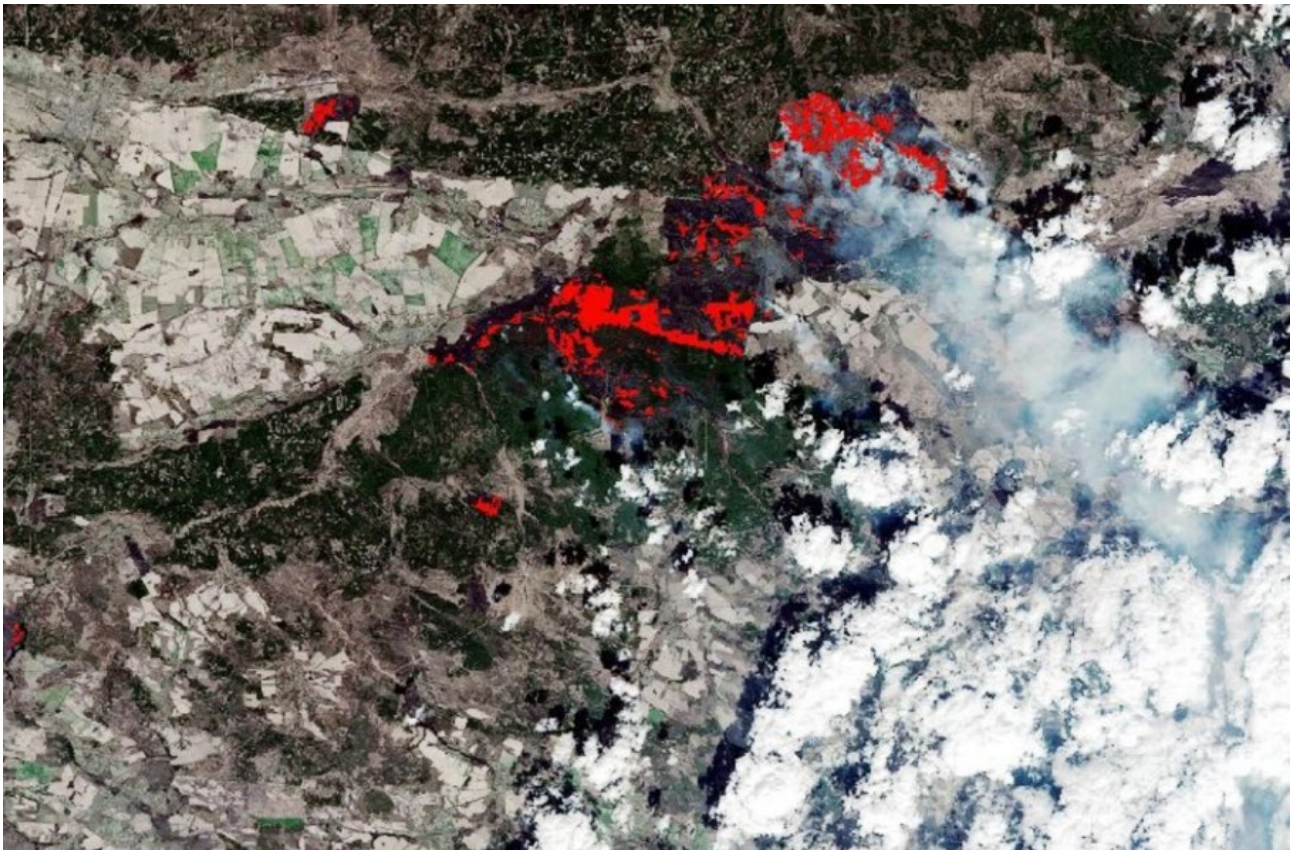


Рис. 3.5. Фрагмент вигорілої території

Цей фрагмент картографічного продукту вигорілих територій був створений SIMA Foundation та Fadeout за допомогою середовища обробки WASDI. Він базується на зображеннях, отриманих Copernicus Sentinel-2 26 березня та 10 квітня 2020 року. На ньому показана вигоріла територія навколо Чорнобильської АЕС в Україні 10 квітня після спалаху лісових пожеж.

Початок пожежі навколо Чорнобильської АЕС в Україні відбувся 4 квітня 2020 року. Пожежу майже повністю ліквідували до 14 квітня. Однак, 16 квітня сталися нові загоряння, що призвели до поширення великих темно-сірих хмар диму на південний схід на відстань 750 км. На фотографії, отриманій 18 квітня з супутника ASTER, видно частину цієї димової хмари. Знімок охоплює площу розміром 59,2 на 61,4 км і знаходиться неподалік від 51 градуса північної широти та 30,1 градуса східної довготи.



Рис. 3.6. Фотографія Чорнобильської зони з супутника Aster станом на 18 квітня 2020 року.

17 квітня 2020 року, супутник NASA Terra зробив таке зображення нових пожеж, що спалахують:

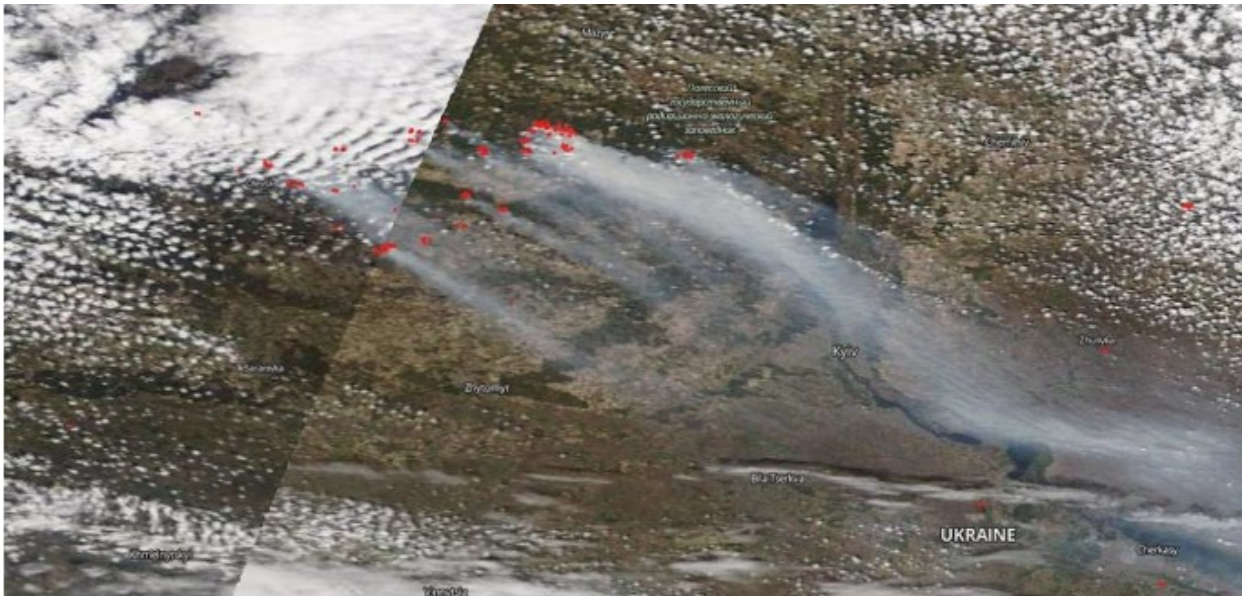


Рис. 3.7. Виникнення нових пожеж

Великі темно-сірі хвилясті клуби диму, які ви бачите, що піднімаються від пожеж на цьому зображенні, подорожують понад 757 км.

Площа Чорнобильської пожежі у квітні 2020 року досягла більше 20 000 гектарів, що робить цю лісову пожежу найбільшою з часів ядерної аварії 26 квітня 1986 року.

3.2. Моніторинг лісових пожеж з використанням індексу NDVI

Для дослідження ми використовували знімки Landsat 8-9 OLI/TIRS: багатозональний і синтезований знімок у натуральних кольорах у форматі JPEG з координатною прив'язкою. Просторова роздільна здатність космічних знімків 30 м. Знімки отримано через сервіс EarthExplorer Геологічної служби США. Рівень обробки вихідного багатозонального космознімка – L2. Такий рівень обробки знімків Landsat забезпечує їхню радіометричну та геометричну корекцію з використанням цифрових моделей рельєфу ("земна" корекція).

При обробці мультиспектрального знімка часто виконують перетворення, які створюють "індексні" зображення. За допомогою математичних операцій над матрицями значень яскравості в певних каналах створюється растрове

зображення, де кожному пікселю призначається обчислений "спектральний індекс". На основі отриманого зображення проводять подальші дослідження.

Використання кнопки NDVI вікна Аналіз зображень дає змогу виконати перетворення знімків у ближній інфрачервоній (NIR) і червоній (RED) знімальних зонах і обчислити так званий вегетаційний індекс NDVI як нормалізовану різницю їхніх значень.

Формулу для обчислення NDVI, використовувану в ArcGIS, модифіковано:

$$NDVI = \left(\frac{NIR-RED}{NIR+RED} \right) * 100 + 100 \quad (3.1)$$

Це призводить до 8-бітового зображення, оскільки діапазоні обчислених значень комірок - від 0 до 200. NDVI може розраховуватися вручну за допомогою інструменту "Калькулятор растра" у Spatial Analyst. В ArcGIS рівняння розрахунку NDVI, що використовується для створення вихідних даних, має такий вигляд:

$$NDVI = \frac{float(NIR-RED)}{float(NIR+RED)} \quad (3.2)$$

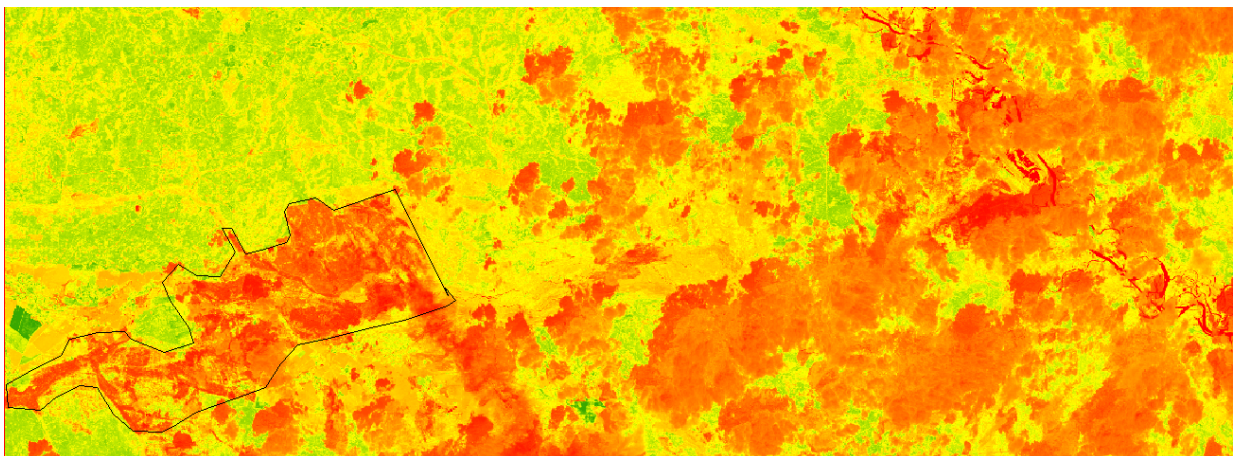


Рис. 3.8. Пожежа біля Чорнобильської зони 10 квітня 2020. Вид з використанням індексу NDVI

Значення NDVI обчислювали за допомогою інструменту "Калькулятор растра" в Spatial Analyst. На рисунку 3.8. представлено результат виконаних

операцій у спеціально підібраній колірній шкалі на території Іванківського району.

Індекс розраховується як різниця значень відбиття в ближній інфрачервоній і червоній областях спектра, поділена на їхню суму. У результаті значення NDVI змінюються в діапазоні від - 1 до 1. Для зеленої рослинності, яка має велику відбивну здатність у ближній інфрачервоній ділянці спектра і добре поглинає випромінювання в червоному діапазоні, значення NDVI не можуть бути меншими за 0. Причинами негативних значень здебільшого є хмарність, водойми та сніговий покрив.

Дуже маленькі значення NDVI (менше 0,1) відповідають областям із відсутністю рослинності, значення від 0,2 до 0,3 представляють чагарники і луки, у великі значення (від 0,6 до 0,8) - ліси. На досліджуваній ділянці за отриманими растрами, що представляють значення NDVI, нескладно ідентифікувати водні об'єкти, густу рослинність, хмари.



Рис.3.9. Шкала значень NDVI

На рисунку 3.8 зображено пік пожежі біля Чорнобильської зони станом на 10 квітня 2020 року, яка виділена чорним контуром, також частина пожежі схована під хмарами, тому ми не можемо її виділити.

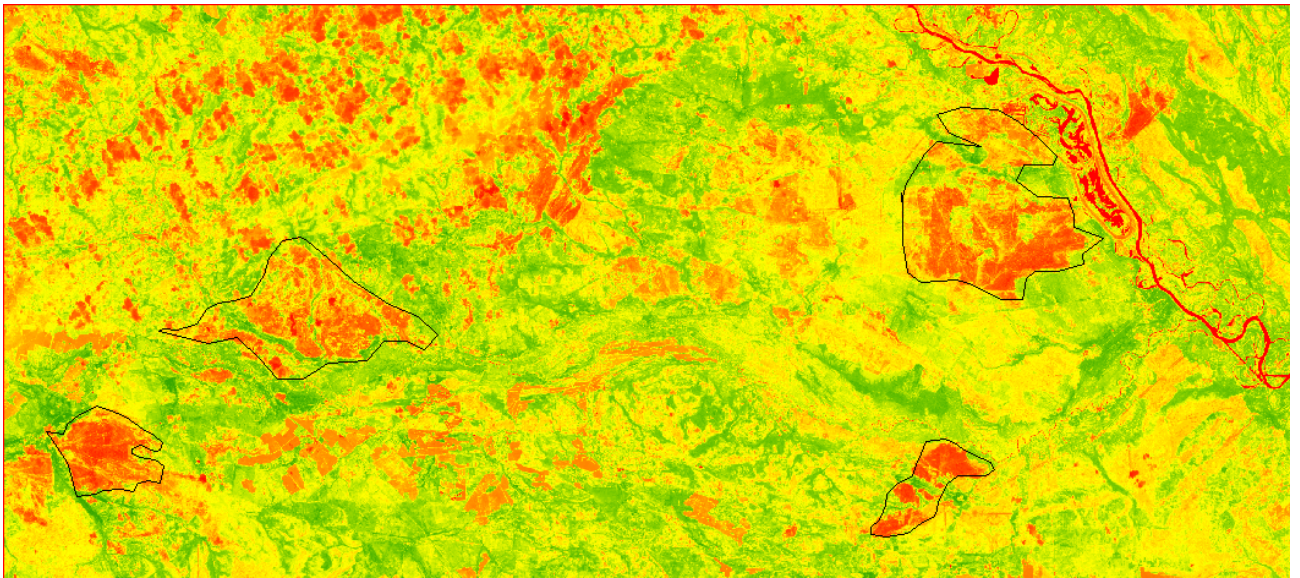


Рис. 3.10. Вигляд після пожеж через 2 місяці, червень 2020 р.

На рисунку 3.10. можна спостерігати виділені зони чорним контуром, які можна віднести до таких зон які були уражені пожежою. Після пройденого проміжку часу через два місяці, можна спостерігати що, уражена територія досі не відновила свій рослинний покрив.

Так як моніторинг – це постійне систематичне спостереження, тому буде доцільно також розглянути цю ж саму територію через певний час, наприклад через рік.

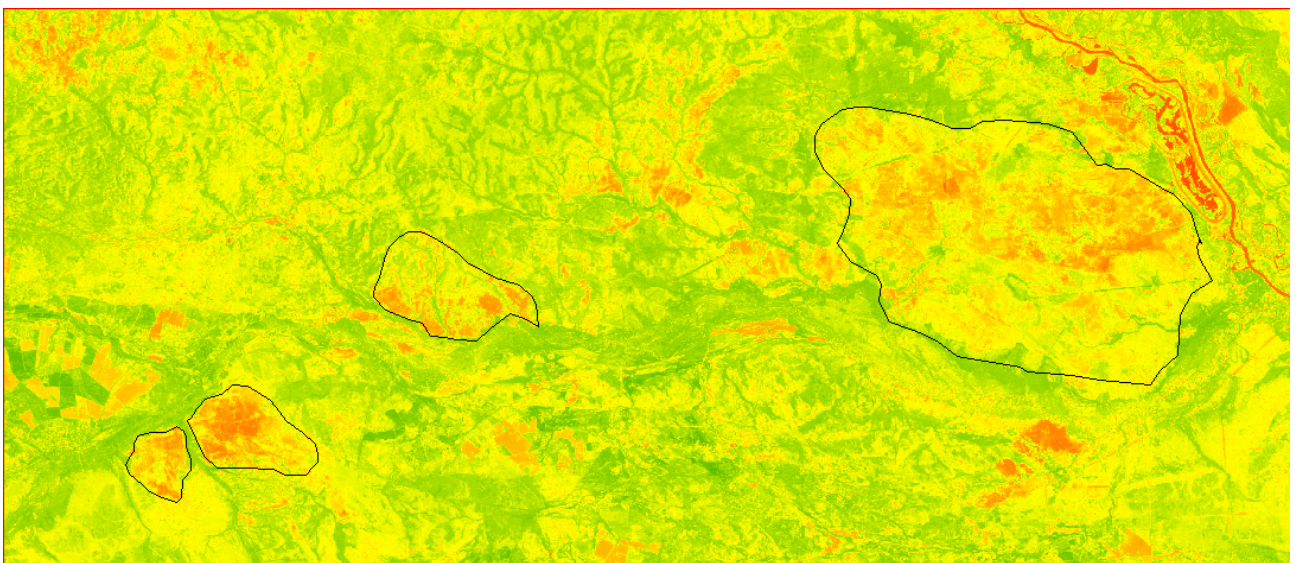


Рис. 3.11. Вигляд з використанням індексу NDVI через рік після масштабної пожежі, 18 липня 2021р

На рисунку вище видно, що даже через рік після пожежі, рослинний покрив не до кінця відновився, і через індекс NDVI всеодно можна визначити в якій частині і на якій території була пожежа.

3.3. Використання індексу NBR у моніторингу лісових пожеж

Індекс NBR (Normalized Burn Ratio) є важливим інструментом у моніторингу лісових пожеж і оцінці їх впливу на природні екосистеми. Цей індекс використовує дані з ближнього інфрачервоного (NIR) і короткохвильового інфрачервоного (SWIR) спектральних каналів для виявлення випалених областей і визначення ступеня пошкодження лісового покриву.

Після лісової пожежі рослини та дерева, які були спалені, мають відмінні характеристики від непошкодженої рослинності. Випалені області мають нижчі значення відбитого NIR і вищі значення відбитого SWIR порівняно з непошкодженими лісами. Індекс NBR використовує різницю між цими каналами для виділення випалених областей.

Вимірюючи інтенсивність відбитого інфрачервоного випромінювання, індекс NBR надає кількісну оцінку ступеня пошкодження лісового покриву після пожежі. Значення NBR нижче 0 вказують на випалені області, де лісовий покрив серйозно пошкоджений або втрачений. Від'ємні значення NBR також можуть свідчити про наявність неприродних об'єктів, наприклад, водойми або кам'янистих поверхонь, які можуть виникнути внаслідок пожежі.

Моніторинг індексу NBR дозволяє візуалізувати поширення випалених областей після пожежі, виявляти нові вогнепалні ділянки та визначати відновлення лісового покриву внаслідок природних процесів або регенераційних заходів. Це дає змогу ефективніше керувати реагуванням на пожежі та планувати відновлення лісових екосистем.

NBR використовується для визначення обгорілих ділянок і визначення тяжкості опіків. Він розраховується як співвідношення між значеннями NIR та SWIR традиційним способом.

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \quad (3.3)$$

У Landsat 4-7 $NBR = (\text{діапазон } 4 - \text{діапазон } 7) / (\text{діапазон } 4 + \text{діапазон } 7)$.

У Landsat 8-9 $NBR = (\text{діапазон } 5 - \text{діапазон } 7) / (\text{діапазон } 5 + \text{діапазон } 7)$.

Але у кожній стороні є свої обмеження, наприклад у NBR це:

—Якщо після пожежі пройшло деякий час і рослинність почала відростати, то ефективність NBR зменшується.

—Використання NBR вимагає наявності короткохвильового інфрачервоного (SWIR) діапазону, що обмежує кількість доступних дистанційних датчиків.

—NBR дуже чутливий до фенологічних циклів та характеристик, таких як рослинність або вологість ґрунту, до та після пожежі.

Також наводжу приклади використання індексу NBR. На рис 3.12. зображено супутниковий знімок на якій видніється пожежа. Видно велику розповсюдженість пожежі, напрям поширення і густий дим, який утворює вертикальні стовпи і розсіюється над землею.

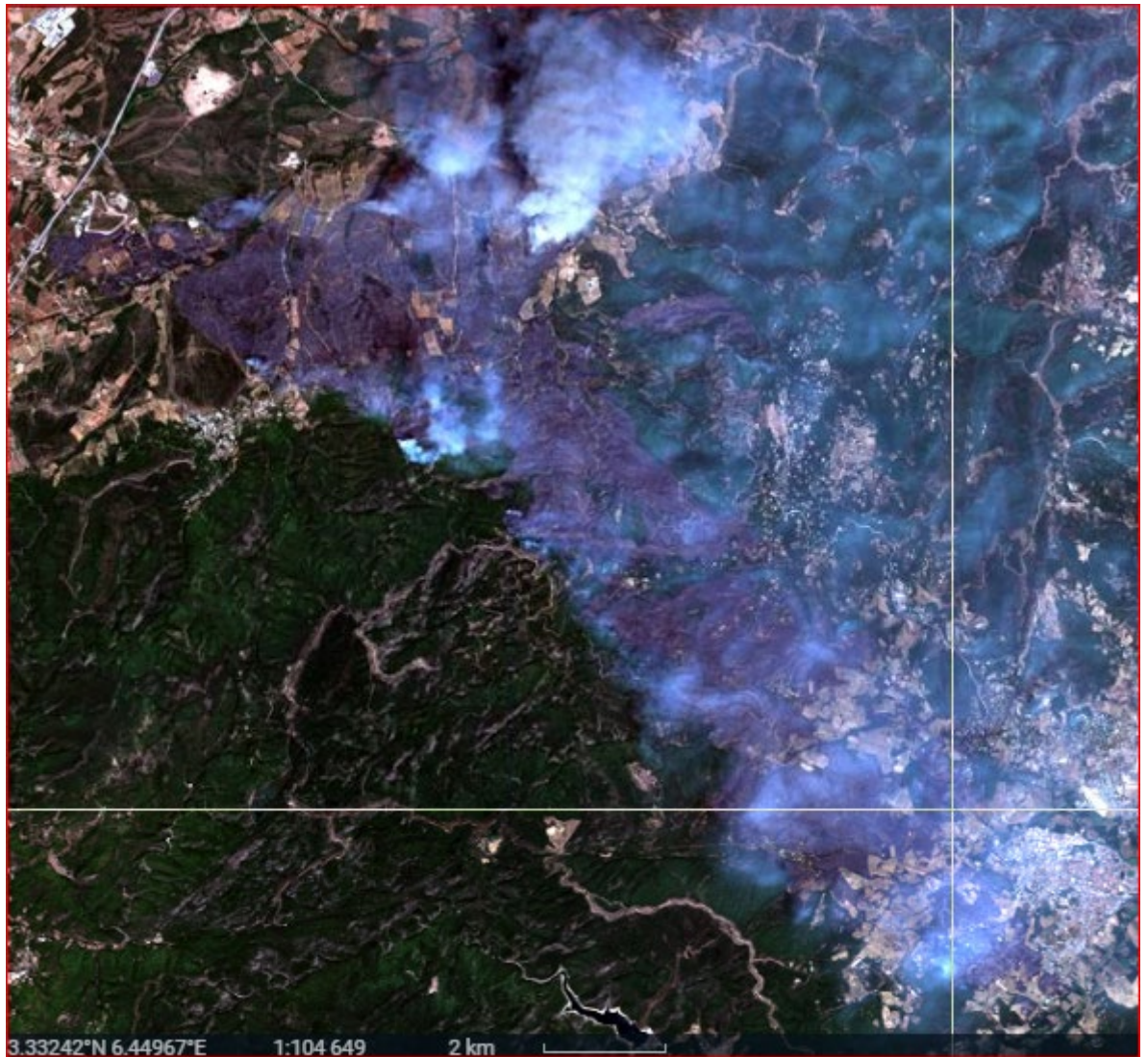


Рис. 3.12. Перший день пожежі, природній колір. Супутниковий знімок з КА Sentinel-2 L2A

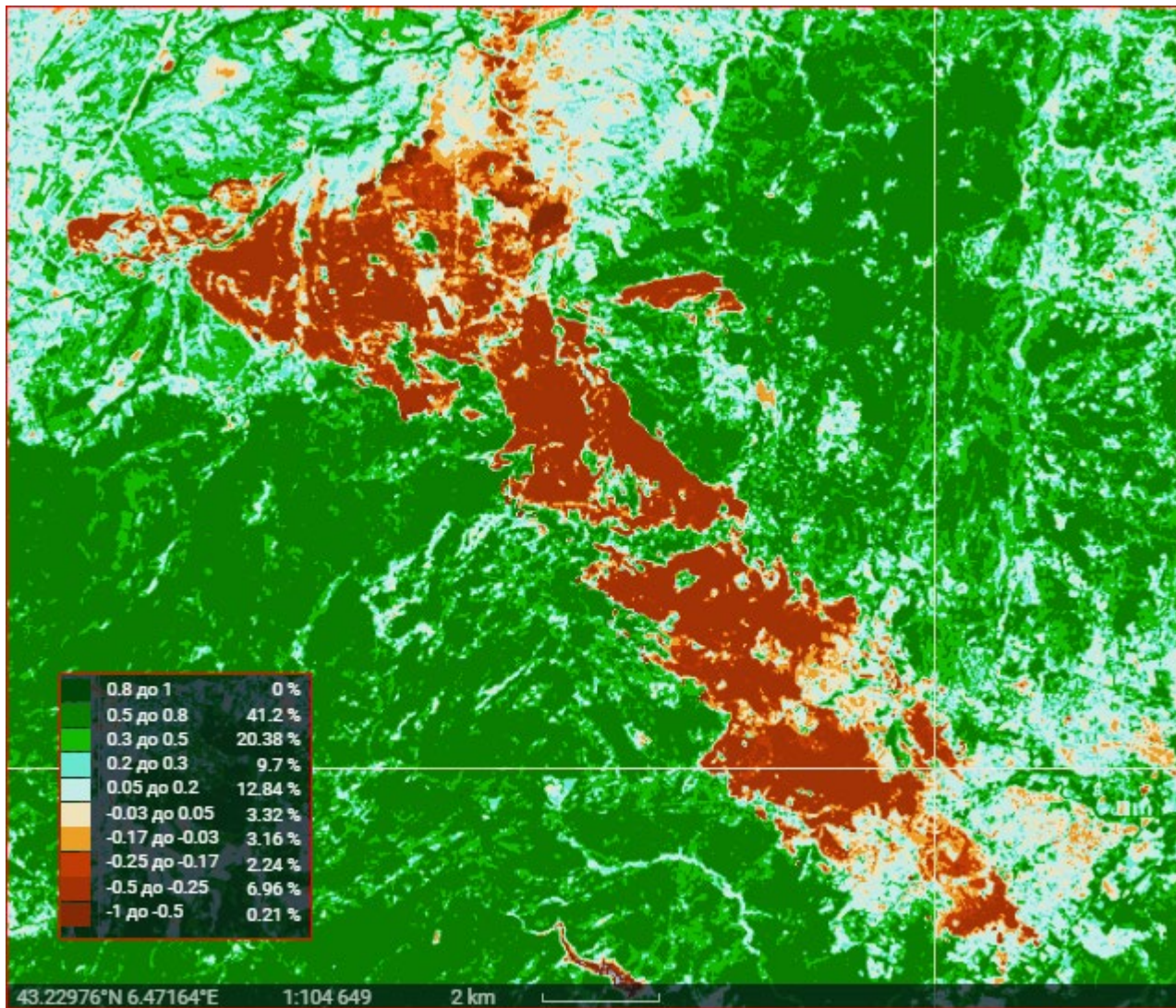


Рис. 3.13. Вигляд пожежі, з автоматично розрахованим індексом NBR.

На рис. 3.13. видніються області які охоплені пожежою. Ці області мають значення NBR менше нуля або від'ємне. З супутникового зображення визначається розповсюдження пожежі. Випалені області, які мають низькі значення NBR, видимі на зображенні, а їх розмір і форма допоможе визначити ступінь поширення пожежі. Видніється значне пошкодження рослинності, оскільки спалені рослини і дерева мають інший спектральний діапазон в порівнянні з непошкодженою рослинністю.

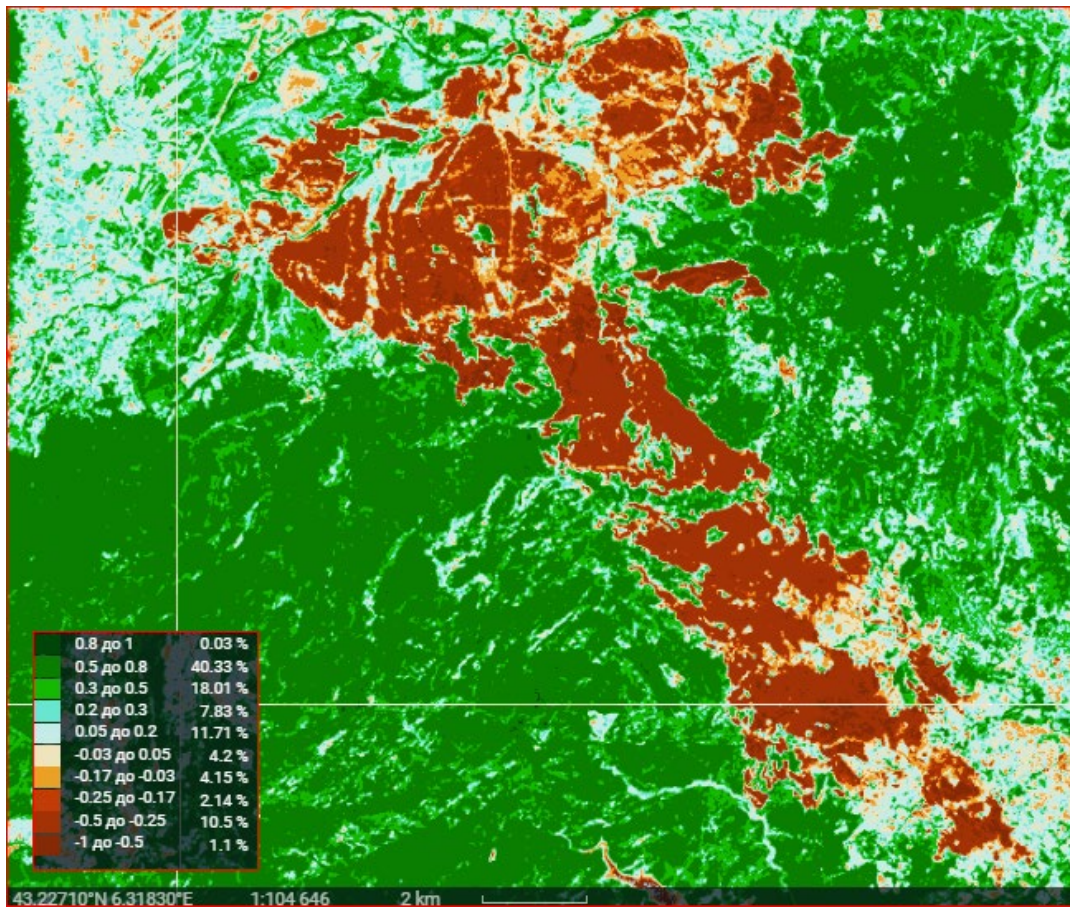


Рис. 3.14. Вигляд з автоматично розрахованим NBR через два місяці після пожежі.

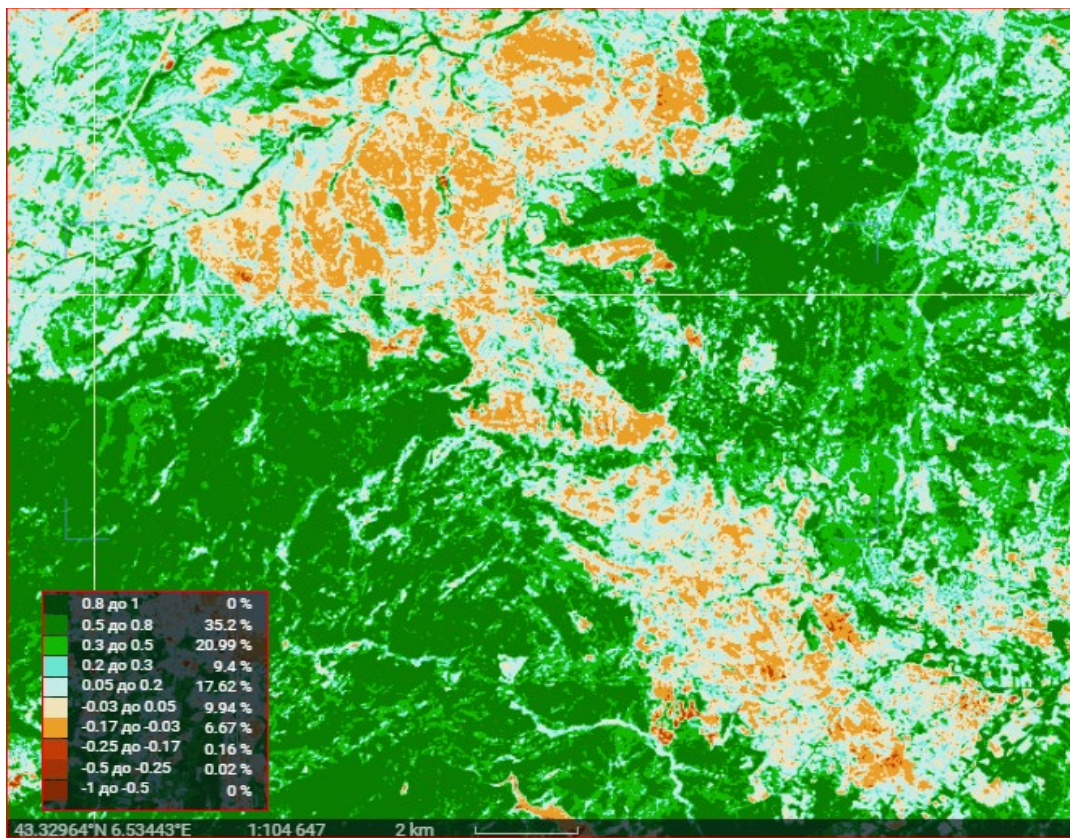


Рис. 3.15. Вигляд з автоматично розрахованим NBR через рік після пожежі.

Аналізуючи два попередньо надані рисунки 3.14 і 3.15. видно, що пошкоджено велику територію вогнем, і не відновлену рослинність через два місяці. А через рік значна територія яка була спалена через пожежу поступово відновилась, і появилась нова рослинність, це добре видно по процентному співвідношенню і збільшенню діапазону вище нуля.

Використання індексу NBR дозволяє виявляти, картографувати та аналізувати випалені області пожежі, допомагає в оцінці пошкоджень лісового покриву та плануванні відновлення екосистем після пожежі.

3.4. Моніторинг і аналіз низових пожеж

В першому розділі було розглянуто низові пожежі в яких входять пожежі на родовищах торфу.

Однією з найважливіших проблем, пов'язаних з такими пожежами, є те, що ефективно загасити тліючі торф'яники за короткий проміжок часу практично неможливо. У багатьох випадках це ускладнюється через важкодоступність районів, де треба гасити пожежу, і віддаленість їх від джерел водопостачання. Крім того, неефективне використання ресурсів і неможливість використання автотранспорту для доставки води ще більше ускладнюють процес ліквідації.



Рис. 3.16. Велике родовище торфу на півночі Рівненської області

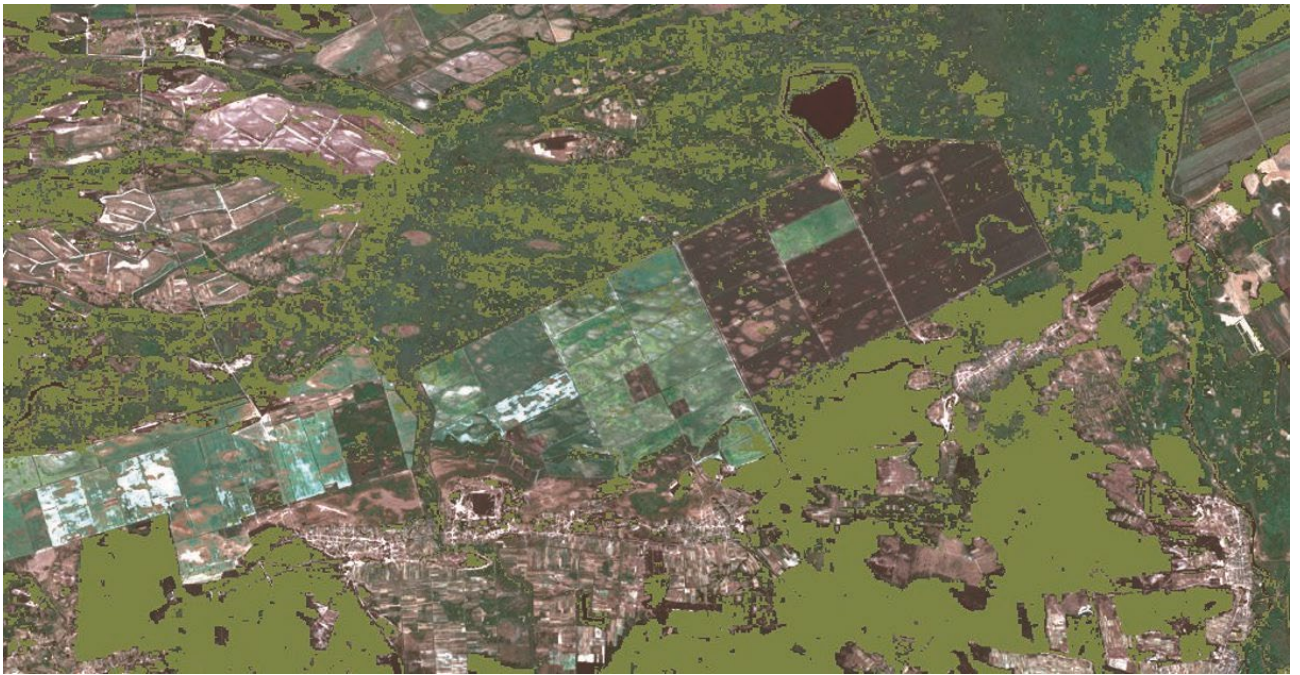


Рис. 3.16. Лісовий покрив поблизу родовища торфу

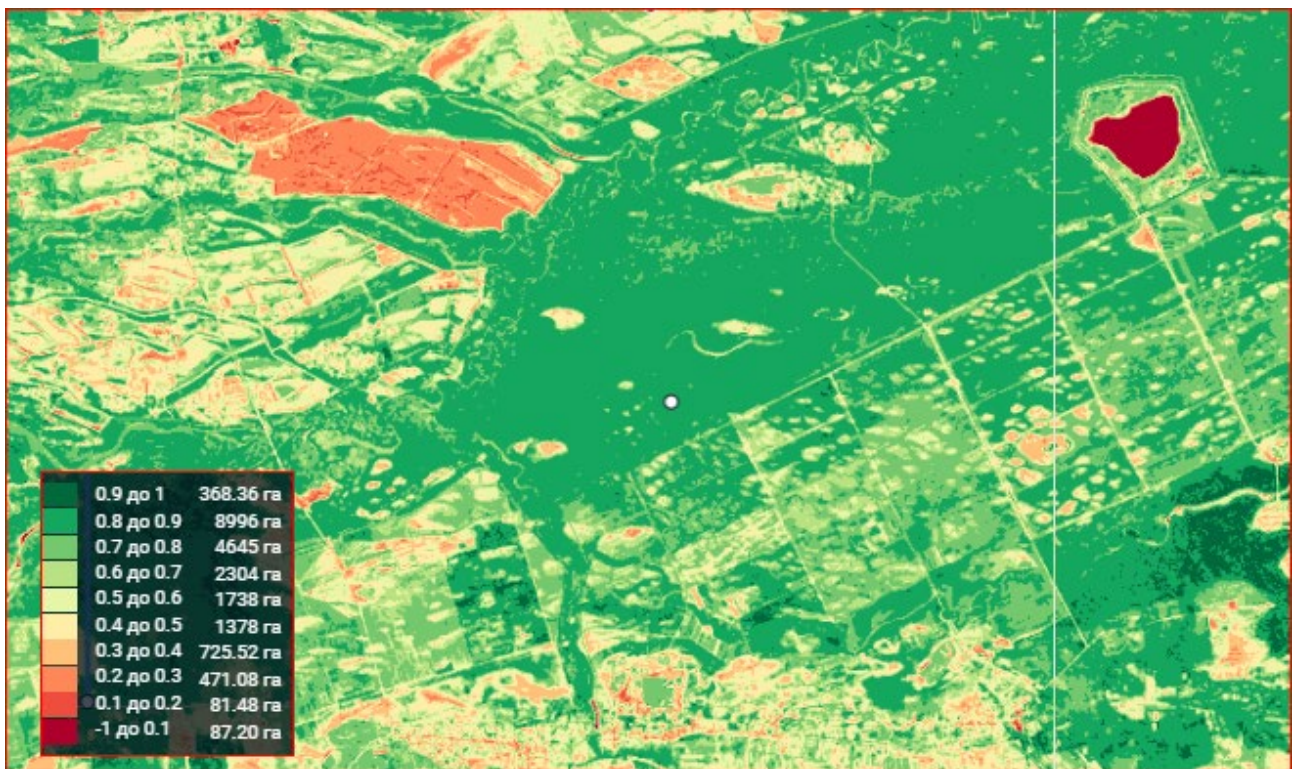


Рис. 3.17. Родовища торфу, села і лісів поблизу торф'яника. Вигляд з використанням індексу NDVI

На рис.3.17. супутниковий знімок, на якому зображено торф'яник та оброблено його за допомогою індексу NDVI, дає можливість отримати

візуальне відображення рівня зеленості та здоров'я рослинного покриву в даному торф'янику.

За допомогою обробки за допомогою індексу NDVI, зображення стає інформативним і дозволяє виділяти та аналізувати різні типи рослин, а також виявляти можливі зміни у їхньому стані. Показано, що на місці торф'яника, майже не має рослинності, тому є велика ймовірність, що при посушливій погоді є ризик пожежі.

Щоб цьому запобігти потрібно встановити систему моніторингу та нагляду за торф'яниками, яка включатиме постійне спостереження за потенційними загрозами пожежі, такими як погодні умови, сухість рослинності та рівень води. Це дозволить вчасно виявити можливі загоряння та приймати належні заходи. Також потрібно розроблення та виконання планів управління вогнем. Це включає створення пожежних коридорів, де видаляється чагарникова рослинність та сухе листя, а також проведення контрольованих випалень для зменшення вогневої небезпеки.

Додатково потрібно підтримання оптимального рівня вологості в торф'яних родовищах. Збереження водних ресурсів та використання систем зрошення які можуть допомогти утримувати рослинність та торф, що знижує ризик вогню.

Особливо необхідно встановлення заборони на розпалювання вогню в районах біля торф'яних родовищ це є необхідним заходом для запобігання пожежам. Воно включає заборону розпалювання вогню для пікніків, кемпінгу і тощо.

Важливо враховувати, що запобігання пожежам в торф'яних родовищах вимагає комплексного підходу та співпраці між урядовими органами, охоронними службами та місцевим населенням.

Моніторинг пожежі в торф'яниках за допомогою індексу NDVI зазвичай включає наступні кроки:

- Визначення базового стану: перед виникненням пожежі проводяться вимірювання індексу NDVI в торф'янику для встановлення базового стану рослинності. Це дає початкову оцінку здоров'я та зеленості рослинного покриву.
- Виявлення пожежі: під час моніторингу супутникові зображення з індексом NDVI використовуються для виявлення можливих джерел пожежі в торф'янику. Це можуть бути випалені ділянки, зміни в рослинному покриві або зменшення значень NDVI.
- Валідація: після виявлення потенційної пожежі проводиться валідація, щоб підтвердити наявність пожежі. Це може включати перевірку даних з місцевих джерел, повідомлення про пожежу або польові обстеження.
- Оцінка поширення пожежі: за допомогою супутникових зображень з індексом NDVI можна визначити ступінь поширення пожежі в торф'янику. Зростання площі з низькими значеннями NDVI вказує на поширення випалених ділянок.
- Аналіз відновлення: після пожежі проводиться аналіз змін в індексі NDVI, щоб визначити відновлення рослинного покриву. Збільшення значень NDVI вказує на відновлення рослинності після пожежі.

Моніторинг пожежі в торф'яниках за допомогою індексу NDVI допомагає виявляти, відстежувати та аналізувати пожежі, їхнє поширення та вплив на екосистему торф'яника.

ВИСНОВКИ

1. Був проведений аналіз стану лісових пожеж, їх масштаб, і вплив на навколишнє середовище.
2. Розглянуто можливості використання супутникового моніторингу за допомогою космічних апаратів Landsat 7-8 і Sentinel-2. Проаналізовано спектральні діапазони і їх дію для супутникового моніторингу.
3. Для поліпшення точності даних, отриманих з комбінації різних спектральних діапазонів, можна застосувати перетворення знімку за допомогою коефіцієнтів і створити спектральний індекс.
4. Описано застосування вегетаційних індексів NDVI, NBR, а також їх можливість застосування до моніторингу лісових пожеж.
5. Досліджено супутниковий моніторинг лісових пожеж. Було розглянуто масштабну пожежу біля Чорнобильської зони відчуження. Наведені і розглянуті супутникові знімки пожежі, вигляд з використанням індексу NDVI, і проведено моніторинг, так як моніторинг це системне спостереження, то були розглянуті знімки під час пожежі, через два місяці і через рік після пожежі. По цьому моніторингу був проведений аналіз змін рослинного покриву який був пошкоджений вогнем.
6. Однією з проблем низових пожеж, є проблема, що ефективно загасити тліючі торф'яники за короткий проміжок часу практично неможливо. На додачу наведені супутникові знімки торф'яного родовища, як вони виглядають у природньому кольорі і після розрахунку індексу NDVI.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гром М.М. Лісова таксація / М.М. Гром. – Львів : РВВ НЛТУ, 2010 –416с.
2. Наказ «Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України» від 27.12.2004 № 278.»
3. Кілічава Т.М. Екологічне право : навчальний посібник для дистанційного навчання студентів / Т.М. Кілічава. – 2009. – 303 с.
4. 19. Гуліда Е. М., Карабин О. О., Смотров О. О. Математична модель поширення лісових пожеж. Пожежна безпека : зб. наук. праць. Львів, 2005. № 6. С. 7—12
5. Гуменюк В.В., Зібцев С. В., Борсук А. А. Вплив низової пожежі на деревостан та наземні лісові горючі матеріали в соснових лісах центрального полісся України. Лісове і садово-паркове господарство : електронний фаховий науковий журнал. 2015. № 6. 9 с.
6. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <http://www.dsns.gov.ua/> (дата звернення 23.05.2023).
7. Дослідження пожеж. Довідково–методичний посібник. Пожінформтехніка. Київ. 1999. 224 с
8. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. Київ, 2007. 28 с
9. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Про пожежну небезпеку молодих соснових насаджень. Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2014. № 24. С. 68—73.
10. Ткач В. П. Ліси та лісистість в Україні: сучасний стан і перспективи розвитку. Український географічний журнал. 2012. № 2. С. 49—55.
11. Україна в цифрах 2015: статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ. 2016. 239 с.
12. Ворон В.П. Тенденції виникнення пожеж у лісах / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С. 207–265.].

13. Мельник П.В. Система органів управління в галузі охорони лісів // – Івано-Франківськ, 2014. – Вип. № 8. – С. 118–182
14. Бардиш Б. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні [Текст] / Бардиш Б., Бурштинська Х. // Сучасні досягнення геодезичної науки 82 та виробництва. – 2014. – № 2 (28). – С. 82-88.
15. Зібцев С.В. Проблема радіаційних лісових пожеж на землях, забруднених в наслідок аварії на ЧАЕС. Науковий вісник НАУ. 2007. Вип. 104 С. 88–93
16. Ворон В.П. Тенденції виникнення пожеж у лісах / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С. 207–265
17. Зібцев С.В. Охорона лісів від пожеж у світі та в Україні – виклики ХХІ сторіччя та перспективи розвитку / С.В. Зібцев, О.А. Борсук. // Лісове і садово-паркове господарство. – 2012. – № 1.
18. Гілітуха Д.В. Моніторинг лісів, пошкоджених пожежами та шкідниками у зоні відчуження ЧАЕС за даними ДЗЗ / Д.В. Гілітуха, С.В. Зібцев, О.А. Борсук // Наук. вісник НУБіП України. – 2011. – Вип. 164, ч. 3. – С. 55–137.
- 19.1. Sungeetha A., Sharma R.R. Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones. Journal of Soft Computing Paradigm. 2020. 2(3): 168–174. DOI: <https://doi.org/10.36548/jscp.2020.3.004>
20. Burke C., Wich S., Kusun K., McAree O., Harrison M.E., Ripoll B., Ermiasi Y., Mulero-Pazmany M., Longmore S. Thermal-Drones as a Safe and Reliable Method for Detecting Subterranean Peat Fires. Drones. 2019. 3(1): 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3010023>
21. Савенець М.В., Осадчий В.І., Орещенко А.В. Лісові пожежі квітня 2020 року та зумовлені ними зміни якості атмосферного повітря в Україні. Вісн. НАН України. 2020. № 5. С. 80–89

22. Супутниковий моніторинг лісових пожеж URL:
http://urpsnotices.blogspot.nl/2010/08/blog-post_06.html (дата звернення 27.05.2023).
23. Карта і супутникові знімки пожеж у Чорнобильській зоні URL:
http://texty.org.ua/pg/article/An21/read/61557/Karta_i_suputnykovi_znimky_p_ozhez_h_u_Chornobylskij (дата звернення 27.05.2023).
24. USGS EarthExplorer Геологічна служба США URL:
<https://earthexplorer.usgs.gov/>
25. Remote Sensing to Study Wildfire - Earth Data Science URL:
<https://www.earthdatascience.org/courses/use-data-open-source-python/data-stories/cold-springs-wildfire/wildfire-remote-sensing/>
26. Normalized difference vegetation index (NDVI) of the area affected by the fire. URL: https://www.researchgate.net/figure/Normalized-difference-vegetation-index-NDVI-of-the-area-affected-by-the-fire-NDVIs_fig1_266390250
27. Forest Fires with Landsat 8. URL:
https://rpubs.com/delViento/fire_greece_nbr_p2
28. Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1727>