

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ лісового і садово-паркового господарства

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри таксації лісу та
лісового менеджменту

Андрій БІЛОУС

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

«02» _____ червня 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Ефективність дистанційного моніторингу лісових пожеж в умовах
Дніпропетровської області»

Спеціальність _____ 205 – Лісове господарство _____
(код і назва спеціальності)

Гарант освітньої програми

_____ Канд. с.-г. наук, доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

_____ Пузріна Н.В. _____
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ Докт. с.-г. наук _____
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

_____ Миронюк В.В. _____
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

_____ Горбачов М.М. _____
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1. Сучасні технології ДЗЗ для моніторингу пожеж	8
1.2. Ідентифікація активних лісових пожеж	11
1.3. Методи картографування згарищ	14
1.4. Кількісна оцінка ступеня пошкодження лісових насаджень у результаті пожеж	15
Висновки до першого розділу	17
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1. Характеристика регіону дослідження	18
2.2. Коротка характеристика лісового фонду	21
2.3. Матеріали бакалаврської роботи	25
Висновки до другого розділу	26
РОЗДІЛ 3 БАГАТОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ ПОЖЕЖ НА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
3.1. Кількість і просторовий розподіл пожеж, зафіксований сенсором MODIS .	28
3.2. Темпоральний розподіл кількості пожеж	33
3.3. Розподіл площі згарищ за даними MODIS	39
Висновки до третього розділу	45
ВИСНОВКИ	46
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50

РЕФЕРАТ

У бакалаврській роботі розглянуто питання ефективності дистанційного моніторингу лісових пожеж за допомогою даних дистанційного зондування Землі. Дослідження проводилися на прикладі Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області.

У першому розділі наведено методи дистанційного моніторингу лісових пожеж. Описано сучасні технології для ідентифікації активних лісових пожеж, методи картографування згарищ та кількісна оцінка ступеня пошкодження лісових насаджень у результаті пожеж.

У другому розділі зроблено характеристику регіону дослідження, наведено опис фізико-географічних умов території. Представлено коротку характеристику лісового фонду та матеріали бакалаврської роботи.

У третьому розділі проаналізовано розподіл пожеж на території дослідження. Виявлено кількість і просторовий розподіл пожеж, зафіксованих сенсором MODIS. Описано розподіл площі згарищ за даними сенсора MODIS та наведено відповідні карти. Запропоновано ідеї, щодо вдосконалення моніторингу лісових пожеж за допомогою даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

За результатами дослідження були зроблені висновки, щодо ефективності застосування супутникових даних для моніторингу лісових пожеж в умовах Дніпропетровщини.

Ключові слова: MODIS, FIRMS, згарище, дистанційне зондування Землі, лісові пожежі.

ВСТУП

Актуальність дослідження. В Україні надзвичайно актуальна тема пожеж, яких з кожним роком стає все більше і більше у лісах. Це негативно відображається на довкіллі, має негативний вплив на економічні та соціальні сфери не тільки України, а й сусідніх держав. Особливу небезпеку створюють пожежі у радіаційно забруднених лісах. Виникнення пожеж спричиняє загибелі тисяч гектарів лісових насаджень. Ще одна дуже вагома проблема лісових пожеж – це традиція випалювати суху та стару траву з нехтуванням правил пожежної безпеки населенням, усі ці чинники дуже впливають на посилення проблеми лісових пожеж [7, 23, 29, 33].

Лісові пожежі знищують цінні деревостани, призводять до забруднення повітря продуктами горіння, деградації ґрунтів, погіршують естетичну цінність ландшафтів та знищують біорізноманіття лісів України [6, 7, 8].

Моніторинг пожеж в лісах України загалом здійснюється традиційними наземними методами, а саме: спостереження з оглядових веж камерами відеонагляду, патрулювання лісів. Нажаль ці методи не завжди є дієвими, особливо коли потрібно обстежувати дуже великі території. Нові супутникові технології дають можливість розширювати та вдосконалювати процес виявлення лісових пожеж, а саме допомагають оперативно отримувати інформацію та забезпечують регулярність спостережень [10, 15].

Бакалаврська робота спрямована на визначення ефективності моніторингу лісових пожеж на території Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області.

Мета роботи полягає в визначенні ефективності дистанційного моніторингу пожеж за допомогою нових інформаційних технологій у регіоні дослідження та

рекомендацій щодо використання вибору даних задля вдосконалення моніторингу лісових пожеж.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні **завдання**:

1. Виконати аналіз проблеми моніторингу лісових пожеж та можливості використання ДЗЗ для її вирішення.

2. Провести дослідження кількості лісових пожеж на території лісового фонду Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області за період 2004–2024 рр. на основі продуктів системи MODIS.

3. Визначити основні переваги та недоліки ДЗЗ ля вирішення лісгосподарських проблем.

Об'єктом дослідження є території, розташовані у межах лісового фонду Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області.

Предмет дослідження – ефективність дистанційного моніторингу лісових пожеж.

Інформаційною базою дослідження слугували дані карти земельного покриття, системи MODIS про термальні аномалії, а також ГІС-технології для просторового аналізу даних. Під час дослідження використано онлайн сервіси FIRMS для завантаження історичних даних про пожежі в форматі шейп-файлів, а також репозитарій щодо згарищ у растровому форматі.

Наукова новизна полягає в удосконаленні методичних підходів щодо використання даних дистанційного зондування для моніторингу лісових пожеж шляхом їхнього поєднання з картами земельного покриття та типів землекористування. Це дозволило виявити просторово-часові закономірності виникнення пожеж у регіоні дослідження та розробити обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності системи моніторингу лісових пожеж.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їхнього використання для підвищення ефективності охорони лісів від пожеж і зменшення

еколого-економічних збитків від цих стихійних лих. Запропоновані рекомендації можуть бути впроваджені в діяльність лісогосподарського підприємства Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Сучасні технології ДЗЗ для моніторингу пожеж

Кожного дня науковці працюють у сфері моніторингу лісових пожеж. Це робиться для зменшення трудомісткості виявлення пожеж та обліку площі якій було завдано шкоди. Дистанційне зондування землі – це наука, яка збирає данні про поверхню землі методом спостереження з космосу та аерофотозйомки. Це досягається шляхом реєстрації та аналізу електромагнітного випромінювання. Сучасні технології дозволяють здійснювати нагляд за великими територіями з орбіти, забезпечуючи огляд не доступний на наземних дослідженнях [10, 15, 16].

Даний науковий напрям бере свій початок у 1858 році, коли Планету Земля було вперше зафільмовано з парашута, новий етап розвитку ДЗЗ прийшовся на роки Першої світової війни, а саме коли ДЗЗ використовувалося для потреб розвідки. Саме на цей період припадає основний розвиток та вдосконалення знімальних пристроїв. У 1972 році було запущено перший американський супутник за програмою «Landsat», саме тоді почалося наукове використання ДЗЗ для дослідження природних екосистем з космосу [10, 15]. Дані супутникових спостережень дуже важливі при оцінюванні розповсюдження лісових пожеж, виявлення їх загаріщ, аналізу розвитку диму від пожеж, згаріщ, виявлення небезпеки виникнення пожеж. Здатність ліквідування пожеж на малій площі в умовах високої пожежної небезпеки встановлюється оперативністю виявлення. Таким чином найбільш відповідним вимогам оперативного моніторингу лісових та торф'яних пожеж відповідають супутники з високим радіометричним розширенням і високою періодичністю зйомки (серії NOAA та EOS). Для моніторингу наслідків пожежі необхідно використовувати супутники з високим просторовим

розширенням. Основними задачами моніторингу лісових пожеж та їх наслідків є: детектування пожеж, визначення місць загорання, моніторинг і контроль розвитку пожеж, оцінка пожежної небезпеки у пожежонебезпечний період, прогнозування ризиків виникнення пожеж у довгостроковій перспективі, оцінка наслідків пожеж [2, 6, 33].

Наслідки впливу лісових пожеж на навколишнє середовище та людину визначаються такими факторами [10]:

- економічні: втрата деревини, пошкодження молодого лісу, витрати на гасіння пожеж, відновлювальні роботи, розчищення місць горіння.
- екологічні: забруднення продуктами горіння повітряного середовища, водного середовища та землі.
- соціальні: травматизм або загибель людей саме в зоні пожежі, погіршення психофізіологічних показників населення, зростання захворюваності населення, зменшення протяжності життя.

У сучасних системах ДЗЗ ключову роль відіграє обробка даних у тепловому, мультиспектральному та гіперспектральному діапазонах, що дозволяє ідентифікувати термічні аномалії та просторово окреслювати межі згарищ. Основні супутникові платформи, що використовуються для моніторингу лісових пожеж, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні супутникові системи для моніторингу лісових пожеж

Назва супутника	Агентство	Просторова роздільна здатність	Періодичність зйомки	Основне призначення
MODIS	NASA	250-1000 м	1-2 доби	Виявлення активних вогнищ
Sentinel-2	ESA (Copernicus)	10-20 м	5 днів	Картографування наслідків
VIIRS (Suomi NPP, NOAA-20)	NOAA	375 м	Щодня	Детекція дрібних пожеж

Продовження таблиці 1.1

Назва супутника	Агентство	Просторова роздільна здатність	Періодичність зйомки	Основне призначення
Landsat-8/9	NASA/USGS	30 м	16 днів	Ретроспективний аналіз згарищ
GOES, Himawari, Meteosat	NOAA, JAXA, EUMETSAT	500 м	5-15 хвилин	Моніторинг у реальному часі

Джерело: розроблено автором

Методи детектування пожеж ґрунтуються на аналізі температур яскравості у визначених спектральних каналах супутникових сенсорів. Ключовим моментом виявлення є фіксація локального підвищення температури в осередках загорання. Візуальне визначення місць початку пожеж дозволяє встановлювати порогові значення теплових аномалій, які залежать від площі горіння, інтенсивності температури, сезону року, часу доби та географічного розташування ділянки загорання. У видимому спектрі пожежі ідентифікуються за наявністю основної дешифрувальної ознаки – димового шлейфу [10].

В основі всіх методів лежать такі принципи: аналіз розподілу сигналу у межах визначених спектральних каналів сенсорів, порогове правило класифікації територій, статистичний аналіз спектральних характеристик окремих ділянок та оцінка достовірності зареєстрованих сигналів [10].

Процедура обробки супутникових зображень включає етапи визначення інформативних каналів, виділення хмарності, водних об'єктів та дефектних зон даних, локалізації потенційних зон загорання, аналізу локальних спектральних особливостей, уточнення виявлень з урахуванням комплексних правил, оцінки ймовірності помилок та затвердження остаточних результатів детектування.

У багатьох країнах системи ДЗЗ вже активно застосовуються для управління надзвичайними ситуаціями. Зокрема, у США впроваджено систему FIRMS, що використовує інтегровані дані MODIS та VIIRS. В Австралії функціонує система Bushfire Monitoring, яка поєднує наземні та супутникові спостереження. В Україні, починаючи з останніх років, активно застосовуються супутникові дані Sentinel та MODIS, що забезпечують оперативний моніторинг зон підвищеного ризику, серед яких особливе місце займають Чорнобильська зона, Полісся та степові регіони [6].

1.2. Ідентифікація активних лісових пожеж

Одним із основних завдань у системі лісопожежного моніторингу є оперативна ідентифікація нових осередків займання, що особливо актуально на великих площах та у важкодоступних регіонах, таких як Чорнобильська зона відчуження. Раннє виявлення пожеж має критичне значення для своєчасної організації заходів локалізації та мінімізації екологічних, економічних і соціальних збитків. Сутність ідентифікації базується на реєстрації теплових аномалій, які фіксуються супутниковими сенсорами в тепловому та середньому інфрачервоному діапазонах довжин хвиль [26].

Перевага супутникових платформ полягає у здатності синоптичного охоплення великих територій, що фізично неможливо забезпечити за допомогою наземних методів спостереження. Дані дистанційного зондування, доступні майже у режимі реального часу – протягом кількох годин, а в окремих випадках – хвилин, дозволяють оперативно приймати управлінські рішення. Розвиток технологій автоматизованої обробки супутникової інформації сприяє ефективній роботі з великими масивами даних без значного залучення людських ресурсів. Яскравим прикладом ефективності ідентифікації пожеж слугує випадок виявлення джерела задимлення в Києві 3 вересня 2015 року, коли за допомогою супутникових даних

встановлено, що джерелом диму стали пожежі на півночі Рівненської та Житомирської областей, а не торфовища, як вважалося первинно.

Методи ідентифікації активних лісових пожеж поділяються на традиційні та сучасні технологічні, що наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Методи ідентифікації активних лісових пожеж

Група методів	Основні підходи	Особливості застосування
Традиційні методи	Наземний моніторинг	Патрулювання, спостереження з оглядових веж, мобільні групи реагування
	Доповіді очевидців	Інформація від населення про дим чи полум'я
Сучасні технології	БПЛА	Використання дронів із тепловізорами для локального моніторингу
	Тепловізійні системи	Стаціонарні чи мобільні тепловізори для виявлення підвищених температур
	Штучний інтелект	Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування ризиків займання
	Супутниковий моніторинг	Використання MODIS, VIIRS, Sentinel-2 для оперативного виявлення загорянь

Джерело: розроблено автором

Сучасні технології забезпечують значне розширення можливостей у сфері оперативної ідентифікації та прогнозування лісових пожеж. Одним із ключових напрямів є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які дозволяють отримувати високоточні дані про осередки займання в умовах обмеженої видимості, важкодоступності місцевості та за несприятливих погодних умов. Оснащення дронів мультиспектральними сенсорами та тепловізорами забезпечує високоточне виявлення термічних аномалій та визначення меж згарищ [30].

Важливу роль відіграють тепловізійні технології, що включають стаціонарні та мобільні системи моніторингу. Дані системи здійснюють безперервний контроль

температурного режиму лісових масивів, дозволяючи фіксувати ранні ознаки займання, навіть за відсутності візуальних проявів полум'я [10, 15].

Перспективним є застосування алгоритмів штучного інтелекту, які на основі історичних та актуальних даних дозволяють будувати прогностичні моделі виникнення та поширення пожеж. Методи машинного навчання аналізують метеорологічні параметри, вологість ґрунту, рослинний покрив та антропогенні фактори для оцінки ймовірності загоряння у конкретних регіонах.

Одним із найефективніших напрямів сучасної ідентифікації є супутниковий моніторинг. Системи MODIS, VIIRS, Sentinel-2 та Sentinel-3 забезпечують регулярне сканування великих площ із високою просторовою та часовою роздільною здатністю. Особливо цінними є теплові канали, які дозволяють точно локалізувати осередки підвищеної температури, що відповідають зонам активних загорань [26, 29].

Для обробки отриманих супутникових даних застосовуються спеціалізовані індекси. Індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) використовується для оцінки стану рослинного покриву та виявлення змін, викликаних впливом вогню. Індекс NBR (Normalized Burn Ratio) дозволяє проводити кількісну оцінку ступеня згорання територій шляхом порівняння до- та післяпожежних знімків.

Автоматизовані системи, зокрема FIRMS (Fire Information for Resource Management System), здійснюють глобальний моніторинг активних пожеж у режимі наближеному до реального часу, інтегруючи дані MODIS та VIIRS для оперативного виявлення нових осередків займання [26].

З метою зниження ризиків виникнення лісових пожеж активно впроваджуються превентивні методи. Зокрема, моделювання поширення вогню із застосуванням геоінформаційних систем (GIS) та кліматичних моделей дозволяє прогнозувати поведінку вогню залежно від топографії, рослинності та метеорологічних умов. Контроль вологості лісового покриву слугує важливим

індикатором потенційної небезпеки займання. Крім того, розробляються інтегровані системи раннього попередження, що базуються на мережах IoT-сенсорів, які здійснюють моніторинг температури, вологості та концентрації диму в режимі реального часу [10].

1.3. Методи картографування згарищ

Лісові пожежі – це найбільш руйнівний фактор, що впливає на екосистем, економіку та суспільство [212, 18]. Одним із найважливіших етапів після пожежі є оцінка наслідків, що включає в себе картографування згарищ – це процес який визначає межі пошкоджених територій, оцінки збитків, розрахунків викидів вуглецю, аналіз та рівень деградації ґрунту та рослинності, а також план заходів з відновлення [21].

До ефективних стандартних продуктів, що застосовуються при картографуванні згарищ, належить, зокрема, продукт MCD64A1, який формується на основі даних MODIS. Він забезпечує глобальне покриття із просторовою роздільною здатністю 500 м та дозволяє визначати орієнтовну дату вигорання з оновленням щомісяця [31]. Значно детальніше картографування згарищ із просторовою роздільною здатністю 10–30 м можливе завдяки використанню знімків супутників Landsat та Sentinel-2, що дозволяє деталізовано фіксувати межі пошкоджених ділянок та ступінь їхнього ураження.

Для ідентифікації змін лісового покриву в результаті пожеж розроблено широкий спектр алгоритмів. У загальному вигляді ці алгоритми поділяються на дві групи. Перша група – піксельні підходи, які виконують аналіз змін спектральних характеристик окремих пікселів зображень у часовому зрізі до та після пожежі. Друга група – методи аналізу часових траєкторій, які дозволяють відслідковувати

динаміку спектральних змін кожного пікселя упродовж тривалих періодів спостереження, формуючи повну історію змін земельного покриття [15].

1.4. Кількісна оцінка ступеня пошкодження лісових насаджень у результаті пожеж

Лісові пожежі належать до ключових дестабілізуючих факторів деградації лісових екосистем, оскільки їхній вплив охоплює ґрунтовий покрив, мікрофлору, рослинність та атмосферне середовище внаслідок викидів великої кількості продуктів горіння. Наслідки таких процесів призводять до втрати біомаси, зниження біологічної продуктивності, руйнування ґрунтового профілю, погіршення якості середовища існування та активації ерозійних процесів. Для ефективного управління лісовими ресурсами, планування відновлювальних заходів і прогнозування екологічних ризиків необхідною є кількісна оцінка ступеня пошкодження лісових насаджень [15, 23].

Оцінювання рівня пошкодження здійснюється на основі аналізу мультиспектральних супутникових даних шляхом розрахунку спектральних індексів, що корелюють із біофізичними параметрами рослинності. Основним показником, що застосовується у практиці оцінки наслідків лісових пожеж, є $dNBR$ (Differenced Normalized Burn Ratio), який обчислюється як різниця між значеннями NBR до та після пожежі. Формально індекс визначається за формулою:

$$dNBR = NBR_{\text{до}} - NBR_{\text{після}} \quad (1.1)$$

$NBR_{\text{до}}$ та $NBR_{\text{після}}$ визначається за формулою:

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (1.2)$$

де NIR – відбивна здатність у ближньому інфрачервоному діапазоні;

SWIR – відбивна здатність у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні.

Величини dNBR дозволяють проводити класифікацію ступеня пошкодження відповідно до прийнятих порогових значень, що наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Класифікація ступеня пошкодження лісових насаджень за індексом dNBR

dNBR	Ступінь пошкодження	Характеристика наслідків
< 0,1	Відсутнє або незначне	Мінімальні зміни рослинного покриву
0,1 – 0,27	Легке	Незначне пошкодження трав'яної та чагарникової рослинності
0,27 – 0,44	Середнє	Часткова загибель деревних порід, деградація підросту
0,44 – 0,66	Високе	Суттєва загибель деревостану, значні втрати біомаси
> 0,66	Катастрофічне	Повна загибель рослинності, руйнування ґрунтового профілю

Практичним прикладом застосування даної методики є аналіз наслідків лісових пожеж у Луганській області у 2020 році, для якого із використанням супутникових даних Sentinel-2 були побудовані карти пошкоджень. Загальна площа згарищ на обстеженій ділянці становила близько 13 500 га, з яких близько 45 % припало на категорію високого ступеня пошкодження, 30 % – середнього, 20 % – легкого та 5% – катастрофічного ураження.

Завдяки впровадженню дистанційних методів оцінки ступеня пошкодження можливо швидко отримувати просторово точну інформацію без залучення масштабних польових обстежень. Методи дозволяють визначати площі згорілих

територій, здійснювати довгостроковий моніторинг динаміки деградації та класифікувати зони ураження з метою пріоритизації відновлювальних заходів [18, 20, 21].

Висновки до першого розділу

Виявлено, що дистанційне зондування забезпечує ефективний і оперативний контроль за великими територіями, що недоступний для наземних методів дослідження. Історичний нарис розвитку цієї науки показав значні досягнення від перших фільмувань з парашута до сучасних супутникових систем.

Особливу увагу було приділено ролі супутникових спостережень у виявленні, моніторингу та аналізі лісових пожеж. Системи як MODIS, Sentinel-2 і VIIRS забезпечують високу просторову та часову роздільність, що дозволяє ефективно виявляти пожежі, контролювати їх розвиток та оцінювати пожежну небезпеку. Наслідки лісових пожеж, включаючи екологічні, економічні та соціальні аспекти, підкреслили важливість оперативного реагування та використання новітніх технологій для мінімізації шкоди.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика регіону дослідження

Регіоном проведення дослідження є територія діяльності Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області. Географічно територія дослідження знаходиться у межах лісостепової та частково степової природних зон, що зумовлює специфічні особливості клімату, ґрунтового покриву та видового складу лісових насаджень. Територія охоплює значну площу лісових масивів у безпосередній близькості до Дніпра [13].

Клімат регіону помірно-континентальний з вираженими рисами посушливості. Середньорічна температура повітря становить близько +9,0...+10,0 °С, абсолютні максимуми сягають +38...+40 °С, а мінімальні температури можуть знижуватись до -25...-30 °С. Річна сума опадів коливається в межах 450–550 мм, що при високих літніх температурах зумовлює нестабільний рівень вологості ґрунтів. Кліматичні умови створюють потенційно підвищену пожежну небезпеку, особливо в літньо-осінній період року.

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами звичайними, темно-сірими опідзоленими ґрунтами та лугово-чорноземними різновидами з домішками супіщаних відкладень. В умовах посушливого клімату структура ґрунтів значною мірою визначає вологозабезпечення лісових культур і впливає на стійкість деревостанів до природних і антропогенних стресів.

Лісовий фонд господарства характеризується переважанням штучно створених лісів на землях історично трансформованих сільськогосподарських територій. Основними лісоутворюючими деревними видами є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) та дуб звичайний (*Quercus robur* L.) [13, 24]. Також у складі

насаджень зустрічаються берест, клен, липа дрібнолиста, ясен звичайний. Значна частина лісових масивів зосереджена у байрачних та заплавних комплексах, що зумовлює високу мозаїчність ландшафтної структури території.

Ландшафтна структура території включає річкові долини Орелі та Дніпра, численні балки, яри та зниження, які виступають потенційними осередками акумуляції гарячих мас під час пожеж. Вітровий режим території переважно північний та північно-східний, що суттєво впливає на динаміку поширення вогню в разі виникнення пожеж.

Аналіз основних природно-кліматичних характеристик території дослідження наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Природно-кліматичні характеристики території Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області

Параметр	Характеристика
Географічне положення	Центральна частина Дніпропетровської області
Природна зона	Лісостепова та частково степова
Середньорічна температура	+9,0...+10,0 °С
Річна сума опадів	450-550 мм
Абсолютний максимум температури	до +40 °С
Абсолютний мінімум температури	до -30 °С
Основні ґрунти	Чорноземи звичайні, опідзолені, лугово-чорноземні
Провідні лісоутворюючі породи	Сосна звичайна, акація біла, дуб звичайний, тополя
Основні ландшафтні елементи	Байраки, заплави, балки, яри, долини річок Оріль та Дніпро
Сезон пожежної небезпеки	Березень – жовтень, пік у червні–серпні

Джерело: розроблено автором

Досліджувана територія оснащена елементами інфраструктури природоохоронного та навчально-просвітницького призначення, які є важливими з точки зору ведення лісового господарства, моніторингу пожежної ситуації та проведення екологічних заходів. На рис. 2.1 представлено територію екологічного навчального майданчика, який активно використовується у просвітницькій діяльності лісового господарства.



Рис. 2.1. Екологічний навчальний майданчик Шульгівського лісництва Дніпровського надлісництва філії «Східний лісовий офіс» ДП «Ліси України», розташований на території Петриківської територіальної громади

Також на території функціонує протипожежна інфраструктура, зокрема оглядова пожежна вежа та адміністративно-господарський центр, що зображено на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Оглядова пожежна вежа та адміністративна база Шульгівського лісництва Дніпровського надлісництва філії «Східний лісовий офіс» ДП «Ліси України»

Природно-кліматичні особливості, структура лісового фонду та технічна інфраструктура Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області формують складну пожежонебезпечну обстановку, що зумовлює необхідність застосування високотехнологічних систем дистанційного моніторингу.

2.2. Коротка характеристика лісового фонду

Лісовий фонд Дніпропетровської області формується в умовах південного лісостепу та північного степу, що обумовлює специфіку його розміщення, структури та динаміки розвитку. Загальна площа області становить 3192,3 тис. га, з яких ліси займають лише 5,6%, що відповідає 179,2 тис. га вкритих лісовою рослинністю територій. Незважаючи на порівняно низький рівень лісистості, лісові

масиви відіграють критично важливу екологічну, ґрунтозахисну, кліматорегулюючу та протипожежну функції для регіону [13].

Основними типами лісів є байрачні та заплавні насадження. Байрачні ліси зосереджені переважно по схилах балок, яруг, річкових терас, де завдяки підвищеній вологості формуються оптимальні умови для зростання широколистяних деревних порід. Заплавні ліси поширені вздовж річок Дніпро, Оріль, Самара, Вовча, формуючи складні багатоярусні лісові комплекси. В межах області збереглися також найбільш південні бори України – Самарський бір, Червоний бір, Новомосковський бір та Дібровський ліс, які мають високу природоохоронну цінність та зберігають залишки реліктових соснових екосистем.

Основу лісоутворюючих деревних порід у регіоні складають сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), яка переважає у борових насадженнях, дуб звичайний (*Quercus robur* L.) – у заплавах та байрачних лісах, акація біла (*Robinia pseudoacacia* L.), що широко насаджувалася з метою закріплення ярів та балок, а також ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), клени, липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.), тополя та інші супутні породи. Значна частка насаджень створена штучно в процесі лісомеліораційних заходів середини ХХ століття [24, 25].

У межах Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області структура лісового фонду представлена різновіковими насадженнями. У молодняках домінують культури акації білої, у середньовікових і пристигаючих лісах переважають соснові та дубові насадження. Старовікові деревостани збереглись лише у поодиноких ділянках заплавних та байрачних лісів [25].

Загальні таксаційні характеристики лісового фонду в межах Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Таксаційна характеристика лісового фонду Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області.

Показник	Значення
Загальна площа лісового фонду	8,3 тис. га
Площа вкритих лісовою рослинністю земель	7,1 тис. га
Запас деревини на 1 га	220-250 м ³
Середній вік насаджень	45-55 років
Домінуючі породи	Сосна звичайна, акація біла, дуб звичайний
Частка штучних насаджень	понад 80%
Клас бонітету	II-III

Джерело: розроблено автором на основі аналізу таксаційних матеріалів

Лісовий фонд є функціонально зонованим. Частина лісів віднесена до захисних, рекреаційних та протипожежних, що визначає підвищені вимоги до їх охорони та моніторингу пожежної небезпеки. Значна частина території відноситься до категорії потенційно підвищеного ризику виникнення лісових пожеж через поєднання посушливого клімату, легких ґрунтів та наявності значної кількості сухої біомаси у підліску [1].

Важливим структурним підрозділом, що розташоване на території дослідження, є Шульгівське лісництво, яке виконує функції з охорони лісу, організації лісгосподарських робіт та контролю пожежної безпеки. Вхід на територію підрозділу наведено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. В'їзна зона Шульгівського лісництва

На рис. 2.2 представлено адміністративну будівлю Шульгівського лісництва, яка є базою управління та координації господарської діяльності.



Рис. 2.2. Адміністративна будівля Шульгівського лісництва

Лісовий фонд регіону дослідження відзначається високим рівнем антропогенної трансформації, значною часткою штучних насаджень, мозаїчною структурою деревостанів та складними умовами функціонування лісових екосистем у пожежонебезпечних кліматичних.

2.3. Матеріали бакалаврської роботи

Для виконання бакалаврської роботи були залучені комплексні вихідні дані, що охоплюють супутникову інформацію, картографічні матеріали, польові таксаційні показники, а також допоміжні кліматичні, лісівничі та пожежні статистичні бази. Усі матеріали були адаптовані для подальшої комп'ютерної обробки з використанням сучасних ГІС-технологій та методів дистанційного зондування Землі [10, 26, 30].

Основу дистанційної інформаційної бази склали мультиспектральні супутникові знімки середньої та високої просторової роздільної здатності. Для оперативної ідентифікації активних лісових пожеж та подальшого моніторингу згарищ було залучено архівні та актуальні знімки супутникових платформ Sentinel-2 MSI, MODIS (MCD64A1 продукт) та VIIRS (MOD/MYD14 продукт). Знімки охоплювали період 2004–2024 рр. з просторовою роздільною здатністю від 1 кілометра до 500 метрів. Обробка матеріалів здійснювалася у середовищах Google Earth Engine (одержання периметрів пожеж за продуктом MCD64A1) та QGIS 3.28 із застосуванням користувацьких алгоритмів [9, 19, 26, 31,].

Крім супутникових матеріалів, у ході дослідження були використані векторні картографічні шари лісового фонду Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області, відповідно до сучасного адміністративно-територіального поділу України. Також використано матеріали ВО

«Укрдержліспроєкт», які містили межі квартальної сітки, таксаційну інформацію по виділах, вікову структуру насаджень, склад порід, класи бонітету, категорії захисності та лісогосподарського призначення. Дані були надані в координатній системі WGS-84 у форматі *.shp.

Загальний опис матеріалів бакалаврської роботи систематизовано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Матеріали, використані у бакалаврській роботі

Категорія даних	Джерело	Формат даних	Просторова роздільна здатність	Період охоплення
Карта земельного покриву	Проект SFI	GeoTIFF	20 м	2023
Супутникові продукти MODIS MCD64A1	NASA FIRMS	HDF/NetCDF	500 м	2004–2024
Супутникові продукти MODIS MOD/MYD14	NASA FIRMS	*.shp	1000 м	2004–2024
Векторна лісові карти	ВО «Укрдержліспроєкт»	*.shp	До 1:10000	Актуальні на 2023 р.

Комплексне використання даних різного типу дозволило забезпечити багаторівневий аналіз лісопожежної ситуації, включаючи виявлення активних пожеж, картографування згарищ, кількісну оцінку пошкоджень, просторовий аналіз ризиків та формування рекомендацій для лісогосподарських заходів.

Висновки до другого розділу

Встановлено, що територія Петриківської територіальної громади Дніпропетровської розташована в умовах досить континентального клімату та характеризується складною мозаїчною структурою ландшафтів, значною часткою

штучних насаджень та підвищеною пожежною небезпекою, особливо в літньо-осінній період. Кліматичні умови з невеликою кількістю опадів, посушливістю, а також наявність легких ґрунтів створюють сприятливі умови для виникнення та поширення пожеж. Різноманітність деревних порід, особливості розміщення насаджень у байраках, заплавах і балках, а також специфіка вітрового режиму формують складну динаміку поведінки вогню при лісових пожежах.

Лісовий фонд має високий ступінь антропогенної трансформації та понад 80% штучно створених насаджень. Виявлено, що найбільш уразливими до впливу вогню є молодняки акації білої та соснові культури середнього віку. Територія господарства має функціональне зонування, включаючи ліси рекреаційного, захисного та протипожежного призначення, що потребує посиленого моніторингу та своєчасного реагування у випадку загорянь. Наявність адміністративних, навчальних і протипожежних об'єктів сприяє реалізації комплексу профілактичних і лісогосподарських заходів.

Методика бакалаврської роботи ґрунтується на поєднанні супутникових даних MODIS, карт землекористування, векторних лісових карт. Обробка здійснювалася з використанням сучасних ГІС-засобів (Google Earth Engine, QGIS).

РОЗДІЛ 3

БАГАТОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ ПОЖЕЖ НА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Кількість і просторовий розподіл пожеж, зафіксований сенсором MODIS

Для оцінки просторового розподілу та кількісної характеристики пожежної активності на території дослідження використано архівні супутникові дані сенсора MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), отримані з офіційного сервісу NASA FIRMS за період 2004-2024 років. З урахуванням широкого спектрального діапазону та глобального охоплення MODIS забезпечує виявлення активних осередків загоряння з просторовою роздільною здатністю 1 км для глобальних щоденних спостережень та 500 м для продукту MCD64A1, який дозволяє формувати карти згарищ (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Веб-сервіс FIRMS для оперативного моніторингу пожеж та замовлення архівних даних (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) [26]

Попередньо проведено фільтрацію вихідних даних з урахуванням території дослідження та якісних критеріїв достовірності сигналу (рівень достовірності 80 % і більше).

У бакалаврській роботі використано карту земельного покриття, яка була опрацьована станом на 2023 рік для всієї території України в проєкті SFI [32]. Карту було опрацьовано за допомогою супутникових знімків Sentinel 2 з просторовим розрізненням 20 м. На карта представлено сім основних типів земельного покриття, а саме: ліс, інша деревна рослинність, травостої, сільськогосподарські угіддя, води, урбанізовані території (рис. 3.2). Відповідно до наведеної карти Петриківська територіальна громада має невелику лісистість. Більшість лісових масивів знаходяться в безпосередній близькості до Дніпра.

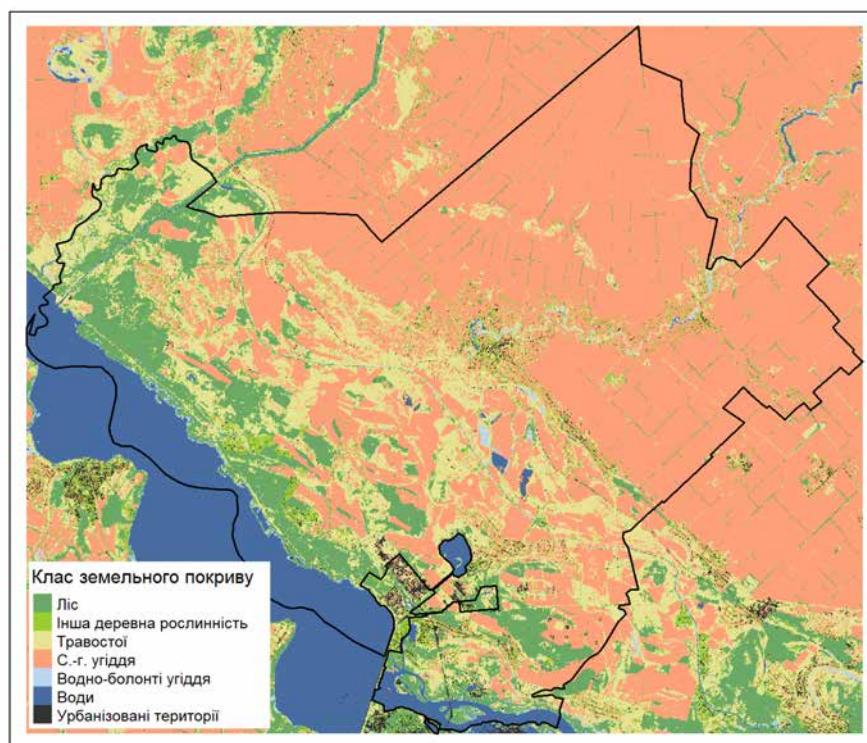


Рис. 3.2. Типи земельного покриття території дослідження Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області

Найбільш важливим чинником виникнення пожеж на сьогоднішній день виступає діяльність людини. Спираючись на це ми повинні розуміти вплив антропогенного фактора на виникнення пожеж на території дослідження. Для більш

чіткого аналізу на карту було нанесено шар населених пунктів відповідно до адміністративно-територіального поділу України (рис. 3.3). Дивлячись на карту можемо спостерігати, що суттєвого зв'язку кількості пожеж і відстанню до населених пунктів не має. За період 2004-2024 рр. простежується концентрація гарячих точок MODIS на окремих ділянках території. Така особливість пояснюється великими пожежами, які горіли впродовж кількох днів.

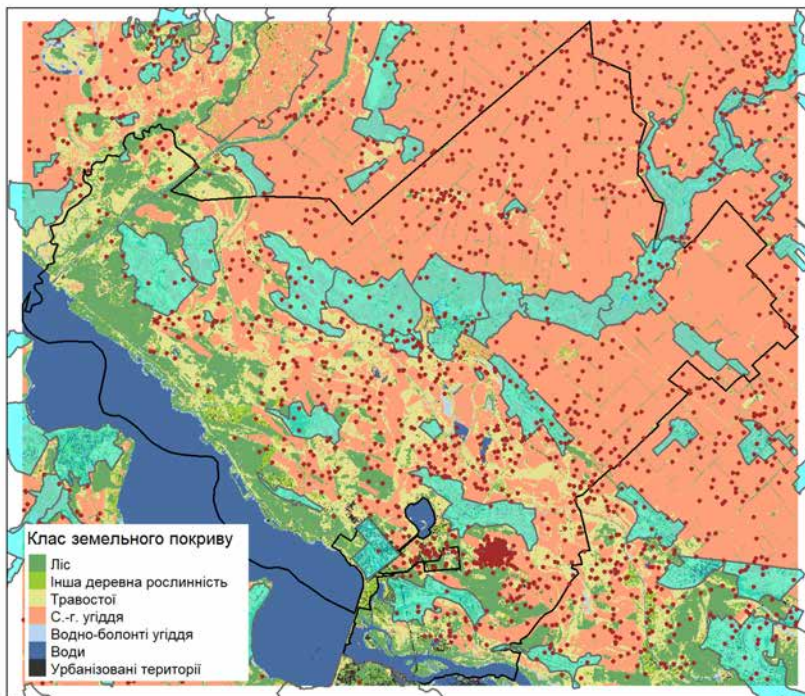


Рис. 3.3. Просторовий розподіл осередків пожеж за даними MODIS (2004-2024 рр.). Блакитними полігонами позначено населені пункти, а червоними точками – пожежі

Для оцінки зон найбільшої концентрації пожеж виконано просторову кластеризацію із застосуванням сітки з розміром осередку $2,5 \times 2,5$ км. У кожній клітинці визначено сумарну кількість пожеж (спрацювань системи MODIS), на основі чого побудовано картограму щільності випадків пожеж (рис. 3.4).

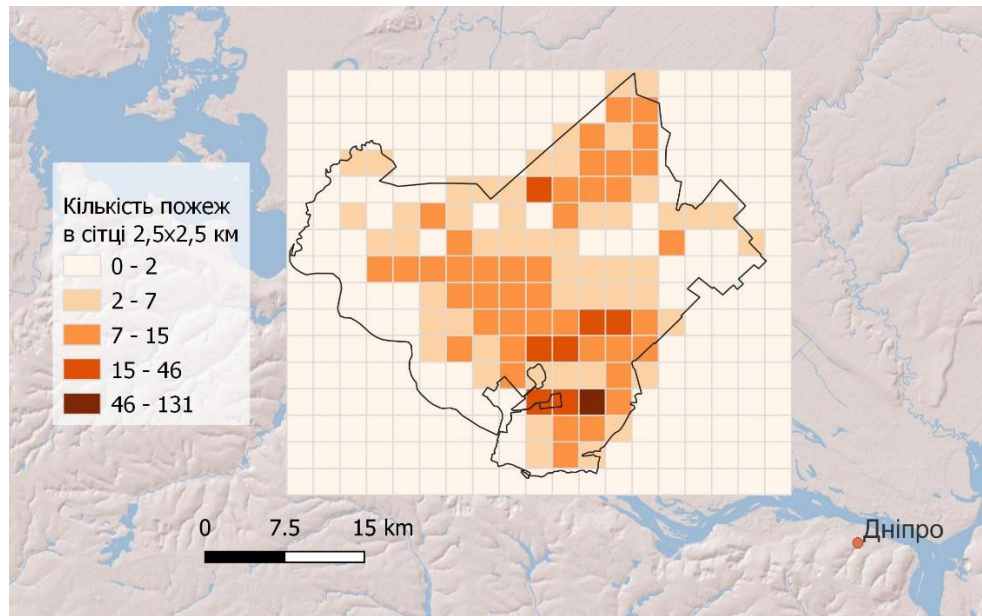


Рис. 3.4. Картограма щільності пожеж Петриківської територіальної громади (групування виконано за сіткою 2,5×2,5 км, використовуючи дані MODIS за 2004–2024 рр.)

Аналіз розподілу пожеж здійснювався за класами земельного покриття, виконуючи ГІС-обробку растрових (карта) і векторних (пожежі) шарів. Як видно з рис. 3.5, протягом 2004–2024 рр. на території дослідження та оточуючих територіях сталося чимало лісових пожеж. При цьому площа лісів для території дослідження несуттєва (приблизно 5 %). Порівнюючи карти на рис. 3.3 і рис. 3.5, найбільша кількість пожеж траплялася у лісах поруч із населеними пунктами, але вони були незначні за площею, а їх тривалість була короткою. Варто зауважити, що карти земельного покриття, розроблені за даними ДЗЗ завжди мають помилки. В зв'язку з цим гарячі точки, що потрапили на клас «ліс» не обов'язково відповідають про лісовим пожежам. Все ж їхня кількість досить значна, що свідчить про серйозні ризики для лісів. Багато лісових пожеж виникають у результаті поширення вогню з відкритих ландшафтів, зокрема спричинених спалюванням залишків сільськогосподарських культур [29].

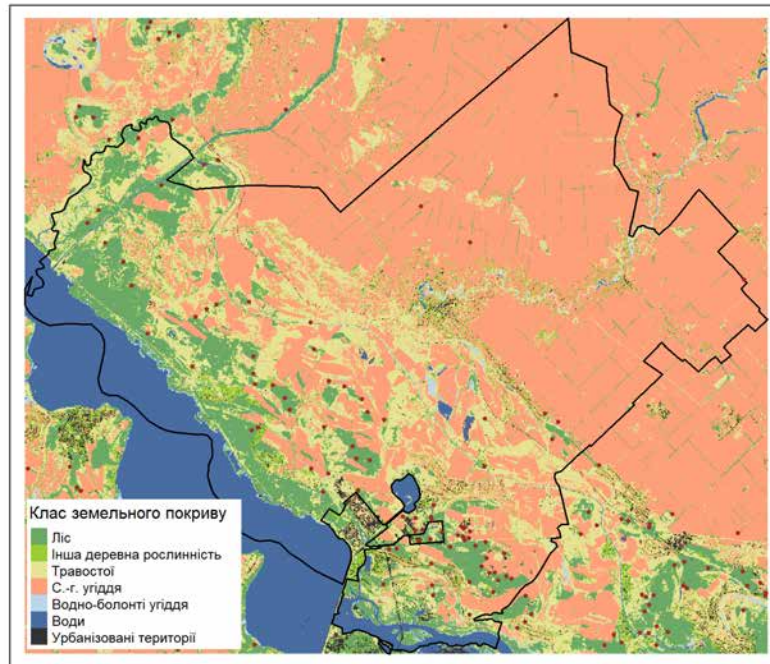


Рис. 3.5. Розподіл кількості лісових пожеж на території дослідження за період 2004-2024 рр., зафіксовані сенсором MODIS на території Петриківської територіальної громади.

Отримані результати свідчать про наявність стабільних зон підвищеної пожежної активності у центральній частині території дослідження, що збігається з районами переважного розташування молодих соснових культур на піщаних супіщаних ґрунтах із низькою вологоємністю. Аналіз внутрішньорічної сезонності показав, що понад 70 % усіх пожежних подій фіксуються у літній період (червень-серпень), що підтверджує сильну залежність активності займання від високих температур та зниженої вологості середовища.

Як вже зазначалося, нанесений на карту лісовий покрив не обов'язково відноситься до лісу (наприклад, це може бути інша деревна рослинність на присадибних ділянках, чи чагарники). Щоб оцінити реальну ситуацію стосовно появи пожеж в лісах, використано офіційні границі ділянок лісового фонду ВО «Укрдержліспроєкт» (рис. 3.6). Проведений аналіз підтвердив зроблені раніше

висновки про те, що на території Петриківської територіальної громади виникає багато лісових пожеж.

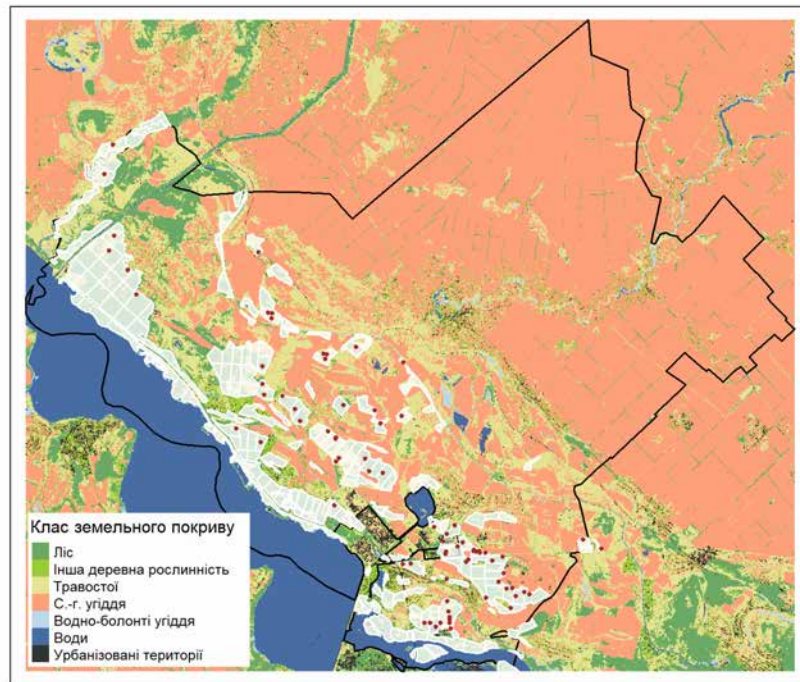


Рис. 3.6. Просторовий розподіл лісових пожеж на території Петриківської територіальної громади (2024–2024 рр.). Територія державного лісового фонду позначена полігонами білого кольору

Проведений комплексний аналіз даних MODIS дозволив детально оцінити просторовий розподіл лісопожежної активності у регіоні дослідження. На основі виконаної роботи можемо виявити найбільш проблемні зони з підвищеним ризиком виникнення пожеж. В подальшому одержані результати можуть використовуватися для побудови прогнозних моделей для попередження ризиків, або оцінки наслідків пожеж.

3.2. Темпоральний розподіл кількості пожеж

Дані спектро радіометра MODIS – надзвичайно корисне джерело інформації для розуміння часового розподілу пожеж. Так, вони допомагають зрозуміти

багаторічну динаміку пожеж, а також здійснити більш детальний аналіз у розрізі місяців, днів тижня. Термальні точки постачаються у форматі шейп-файлів, в атрибутивних таблицях яких міститься широкий список параметрів, пов'язаних із імовірністю виявлення пожеж, часу прольоту супутника. Ці показники були використані, щоб узагальнити багаторічну динаміку пожеж на території дослідження.

Відповідно до рис. 3.7, спостерігаємо поступове зменшення загальної кількості пожеж, що є позитивним аспектом. Поясненням цього явища може запровадження більш жорстких правил стосовно спалювання залишків сільськогосподарських культур, сухої трави тощо. Також треба відзначити великий вплив військового вторгнення, яке змінило пожежні режими в Україні, змістивши концентрацію пожеж до ліній фронту. При цьому території за межами безпосереднього впливу війни також зазнали змін у характері ведення сільського господарства, зменшилася кількість мешканців.

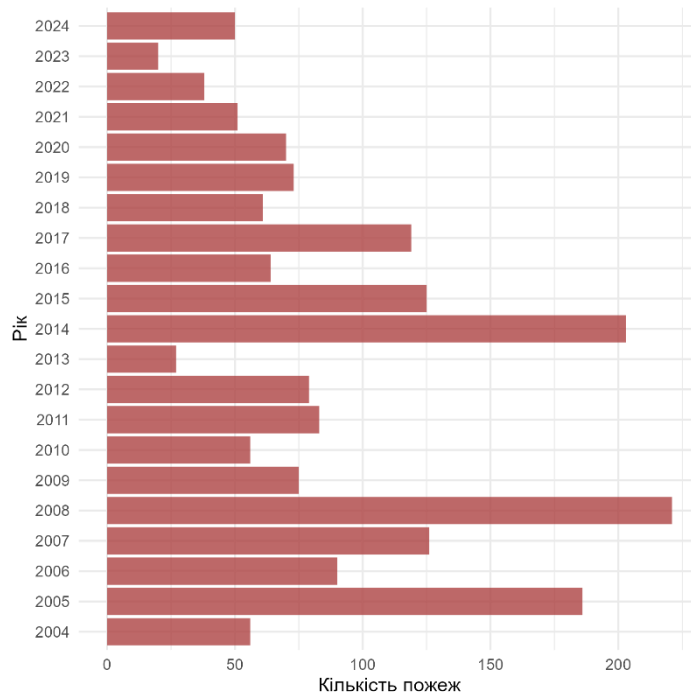


Рис. 3.7. Розподіл кількості пожеж в межах Петриківської територіальної громади

Найбільша кількість пожеж припала на 2005 по 2014 рік, з найбільш критичним станом у 2008 році. Спираючись на данні з карт земельного покриття, можемо побачити цікаву інформацію що стосується розподілу пожеж за типами ландшафтів (рис. 3.8). Дивлячись на розподіл, можна побачити, що суттєво зменшилася кількість загорань на сільськогосподарських землях, що знову підтверджує зміну типів землекористування в Україні під час війни.

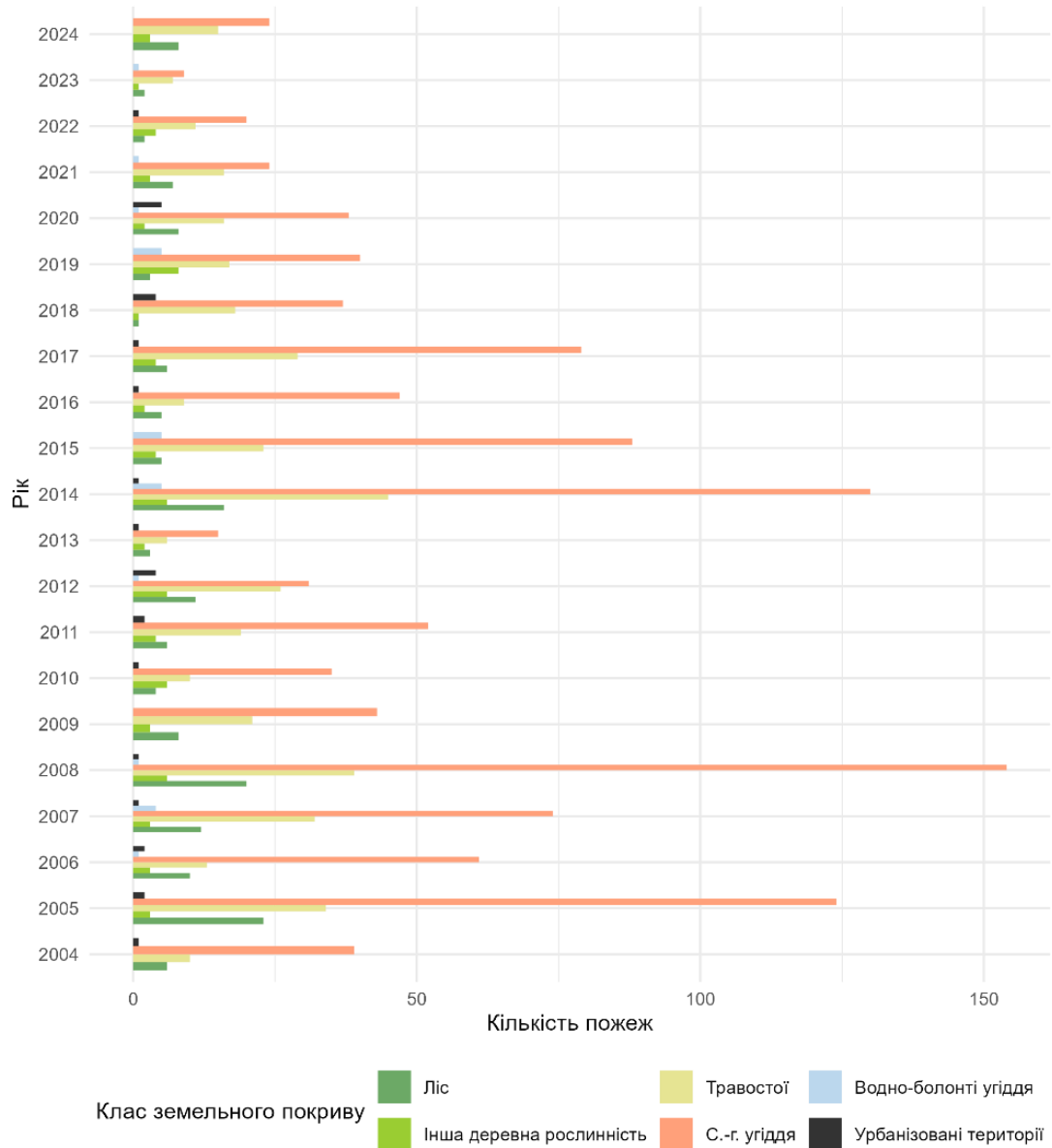


Рис. 3.8. Розподіл кількості пожеж за типами ландшафтів за 2004-2024 рр на території Петриківської територіальної громади.

Все ж, пожежі в регіоні дослідження були досить частими. Загальний розподіл кількості пожеж за типами землекористування (рис. 3.9), все ж, указує на велику кількість лісових пожеж у межах зони діяльності лісогосподарського підприємства. Очевидно, що найбільший вплив на одержаний розподіл мали найбільш критичні роки, такі як 2008 рік.

У результаті проведеного дослідження можна констатувати, що на лісові пожежі в межах дослідної території припало близько 10 % всіх зареєстрованих випадків пожеж, що майже вдвічі більше від лісистості території. Таким чином, існують суттєві перестороги стосовно появи лісових пожеж у майбутньому, що вимагає адаптації стратегії лісоуправління та пожежного менеджменту відповідно до сучасних реалій.

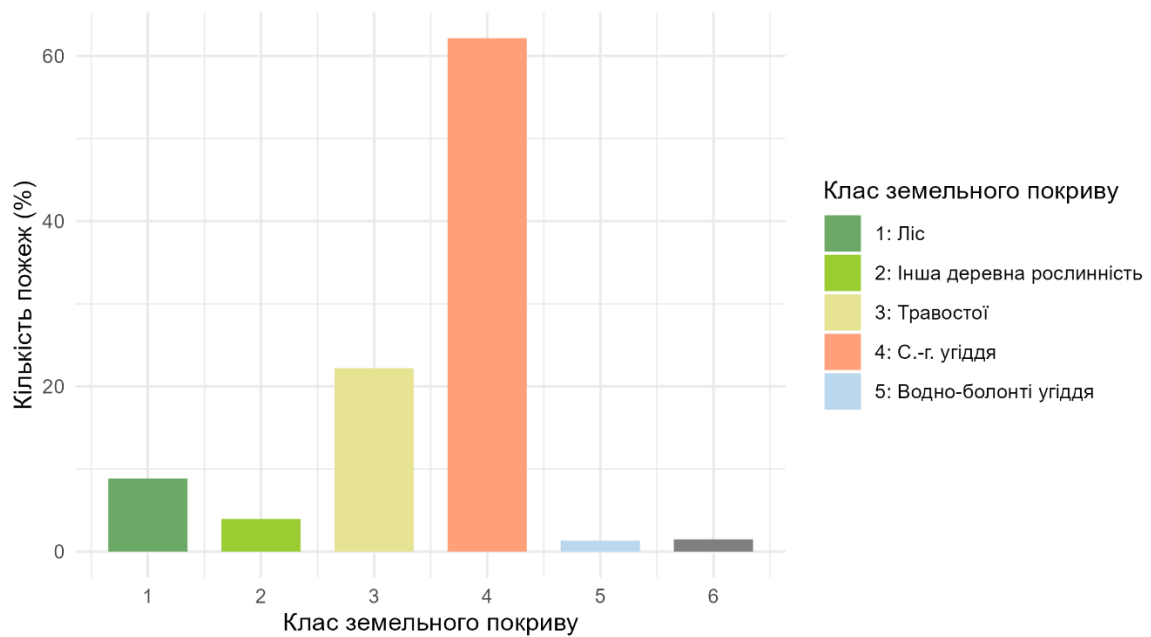


Рис. 3.9. Розподіл кількості пожеж за класами земельного покриття на території Петриківської територіальної громади за 2004-2024 рр.

Якщо провести аналіз лише лісових пожеж в межах лісового фонду території дослідження, то можемо помітити великий багаторічний розподіл із двома піками

для 2005 та 2008 років (рис. 3.10). Особливістю багаторічної динаміки кількості пожеж є поява в окремі роки значної кількості пожеж, тоді як в інші їх спостерігалось істотно менше (наприклад, 2018 рік). Поясненням такого розподілу може бути особливості кліматичних умов. Наприклад, посушливі роки з високою температурою повітря влітку сприяють більшим ризиками виникнення пожеж, особливо в поєднанні з людським фактором. У зв'язку з цим більшість пожеж виникають поблизу населених пунктів.

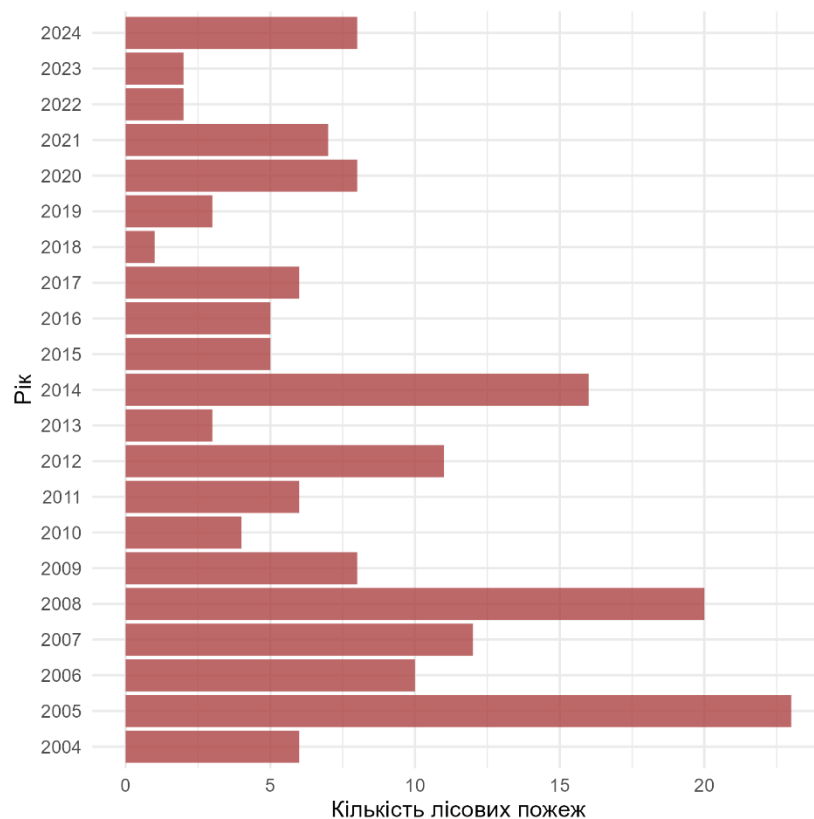


Рис. 3.10. Розподіл кількості лісових пожеж в межах лісового фонду території дослідження Петриківської територіальної громади.

На основі проведеного дослідження було підтверджено наявність бімодального розподілу кількості пожеж упродовж року (рис. 3.11). Так, найбільша

кількість пожеж зареєстрована в березні-квітні та серпні-жовтні. Це явище пов'язане з сезонністю сільськогосподарських робіт та особливістю клімату.

Перший пік пожеж випадає на період перед початком сезонних робіт на полях, коли населення починає готувати свою ділянку під сільськогосподарські роботи. Для років з посушливими періодами маємо дуже великий ризик переходу контрольованих палів у великі пожежі. Причиною цього є низька вологість горючих матеріалів та сильні вітрові пориви.

Другий пік припадає на закінчення періоду вирощування сільськогосподарських культур і прибиранням рослинних залишків. Аналогічно до першого періоду, посушлива погода та сильний вітер часто призводить до погіршення пожежної ситуації в регіоні.

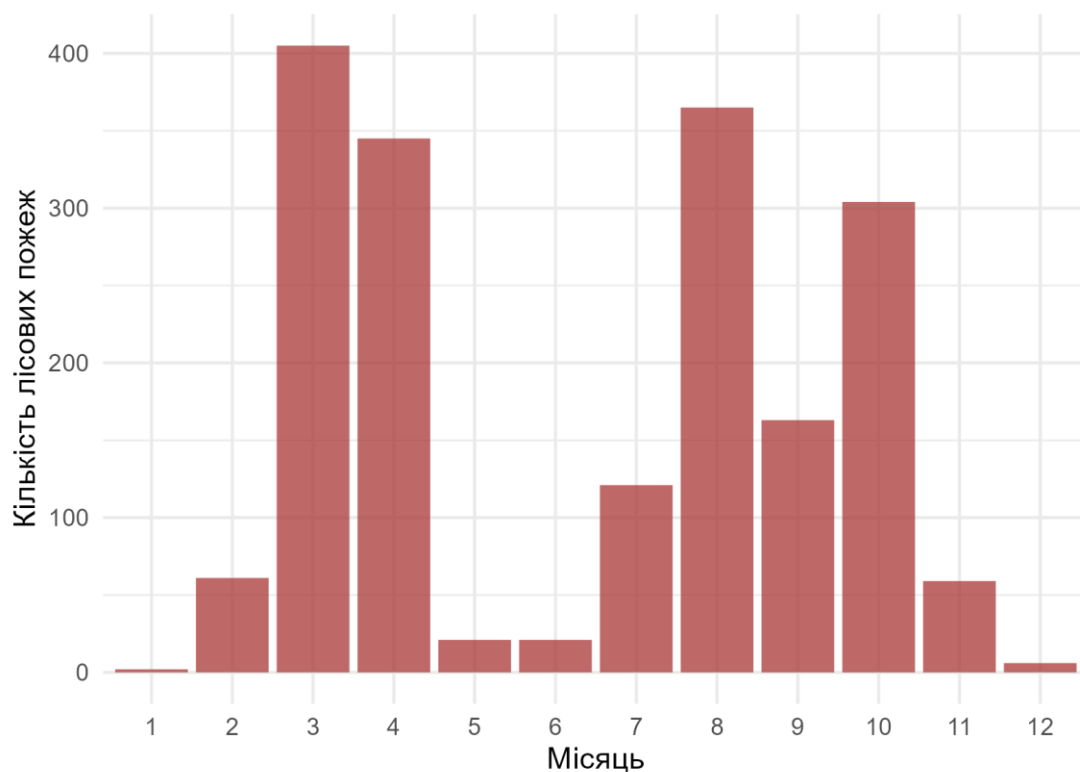


Рис. 3.11. Розподіл кількості пожеж за 2004-2024 рр. за місяцями на території Петриківської територіальної громади (підписи на осі абсцис відповідають порядковому номеру місяця в році)

3.3. Розподіл площі згарищ за даними MODIS

Оцінювання просторового розподілу площ згарищ у межах досліджуваної території виконано на основі даних супутникового продукту MCD64A1 (Collection 6), який формується на основі сенсорів MODIS, встановлених на супутниках Terra та Aqua [10]. Зазначений продукт забезпечує глобальне картографування згарищ з просторовою роздільною здатністю 500 метрів та дозволяє виконувати багаторічний аналіз динаміки вигорань для досліджуваних лісових масивів. Завдяки стабільності алгоритмів обробки даних MODIS забезпечується зіставність результатів між роками, що є ключовим для довгострокового моніторингу.

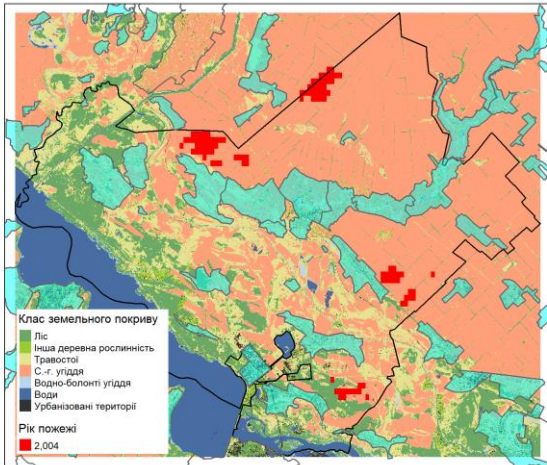
Комбінований продукт Terra та Aqua MCD64A1 версії 6.1 «Дані про спалені площі» – це щомісячний глобальний продукт у вигляді сітки з кроком 500 метрів, що містить інформацію про спалені площі та якість для кожного пікселя. Для картографування спалених площ MCD64A1 використовуються зображення поверхневого відбиття спектро радіометра MODIS у поєднанні з даними активних спостережень за пожежами MODIS з розрізненням 1 кілометр. Алгоритм використовує чутливий до горіння індекс рослинності для створення динамічних порогових значень, які застосовуються до комбінованих даних. Вегетаційний індекс отримується з короткохвильових інфрачервоних атмосферно-скоригованих каналів поверхневого відбиття 5 і 7 MODIS. Алгоритм визначає дату горіння для комірок сітки 500 м у межах кожної окремого тайлу MODIS. Дата кодується в одному шарі даних як порядковий день календарного року, в який відбулося горіння, із значеннями, присвоєними пікселям незагорілої ділянки, та додатковими спеціальними значеннями, зарезервованими для відсутніх даних і комірок сітки з класом «водні поверхні».

Шари даних, що надаються в продукті MCD64A1, включають дату горіння, невизначеність даних про горіння, забезпечення якості, а також перший і останній дні надійного виявлення змін за рік. Дані були опрацьовані на платформі Google Earth Engine [28] за допомогою користувацького скрипта, завантажені на персональний комп'ютер, де проаналізовані в ГІС.

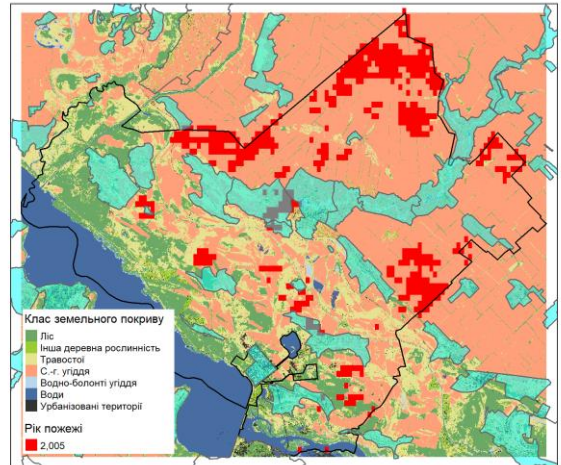
За даними рис. 3.12–3.15, де представлені периметри великих пожеж, спостерігаємо певні «гарячі точки». Саме тут траплялося найбільше пожеж. Це переважно були пожежі на сільськогосподарських угіддях. Помітно, що на початку проаналізованого періоду виявлено більше згарищ, що узгоджується з даними про термальні аномалії з попередніх рисунків. Для прикладу, з рис. 3.10 видно, що 2005 і 2008 роках зафіксовано найбільше спрацювань системи MODIS. Відповідно з одержаними даними узгоджуються карти згарищ на рис. 3.12 і 3.13. Таким чином можна зробити висновок про достовірність даних, які одержують за допомогою технологій ДЗЗ.

З роками кількість згарищ зменшується (аналогічно до статистики пожеж, наведеної вище). В 2023 році взагалі не було виявлено жодного згарища. Треба зауважити, що картографування згарищ в умовах української степової зони завжди викликало багато труднощів, оскільки свіжі переорані землі мають дуже близький до згарищ спектральний відгук. Таким чином, основною метою сучасного алгоритму картографування вигорілих територій стало поєднання не тільки спектральних даних супутникової зйомки, а і даних про термальні аномалії, що істотно поліпшило якість закартованих згарищ в проаналізованому глобальному продукті [27]. Також треба зазначити, що в літературі вже піднімалося питання недооцінки площі згарищ в умовах України на основі відомих глобальних продуктів дистанційного зондування Землі [29].

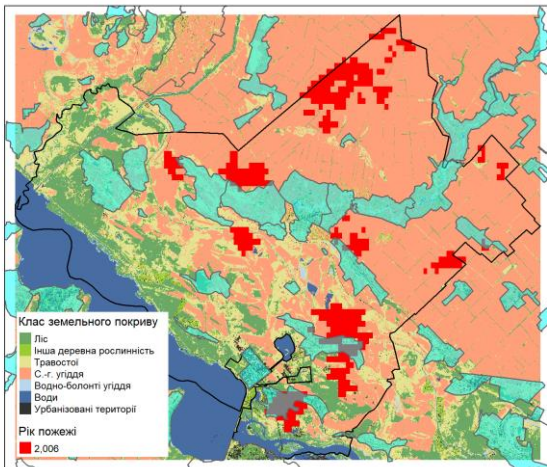
2004



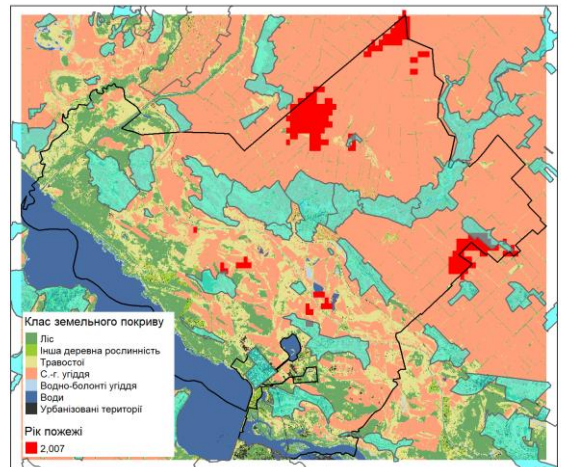
2005



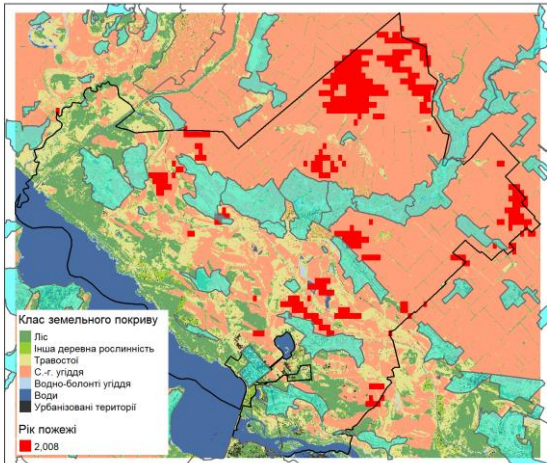
2006



2007



2008



2009

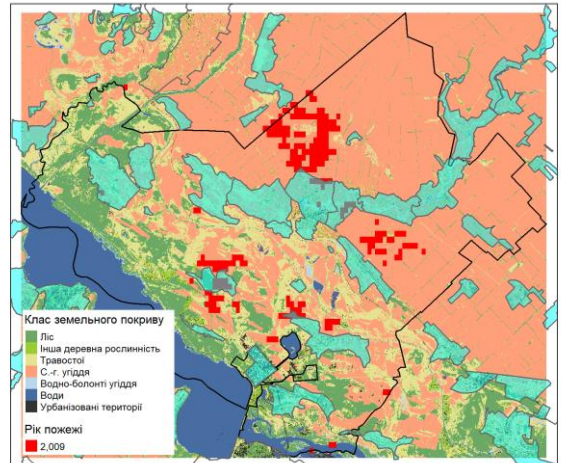
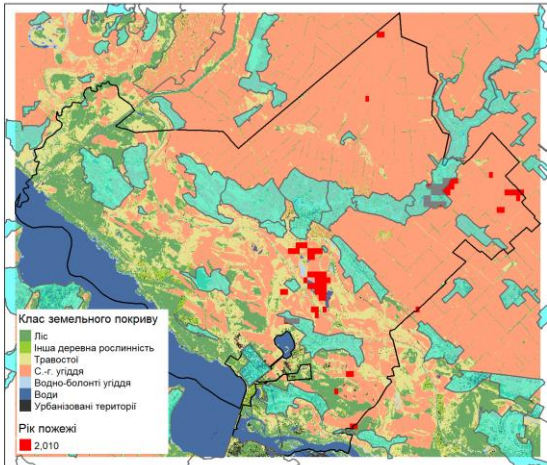
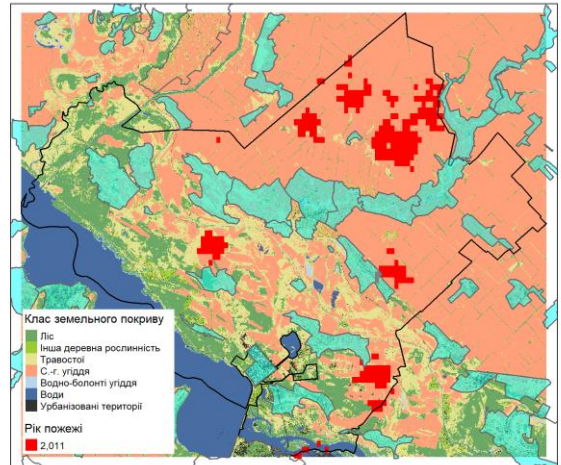


Рис. 3.12. Просторовий розподіл згаріщ за даними MCD64 за 2004–2009 рр. (блакитними полігонами позначено населені пункти)

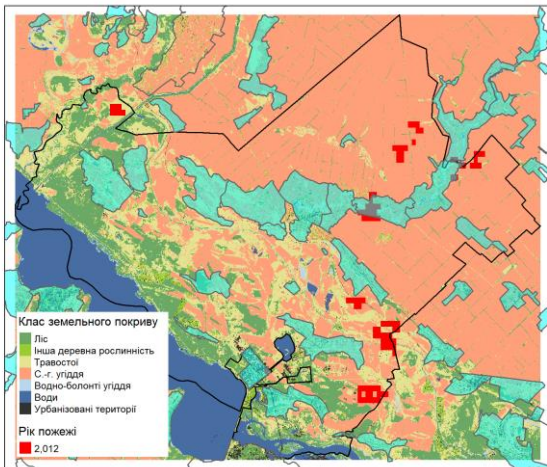
2010



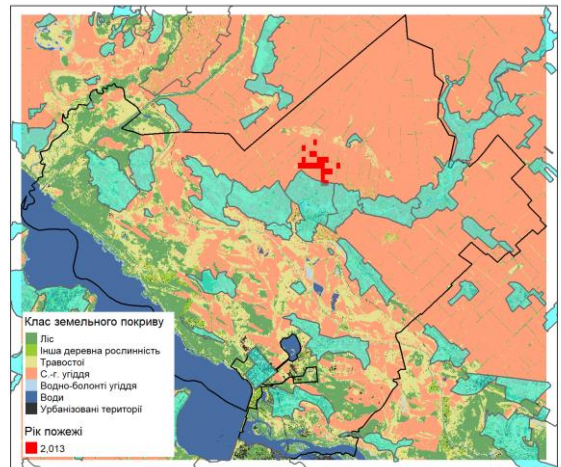
2011



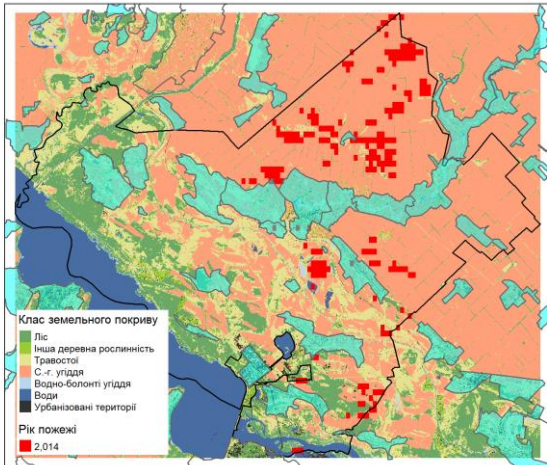
2012



2013



2014



2015

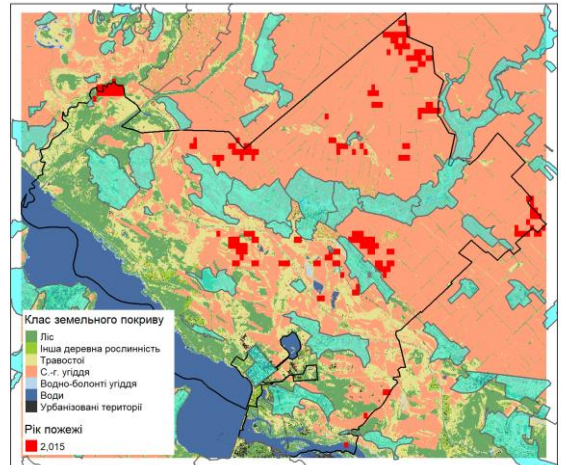
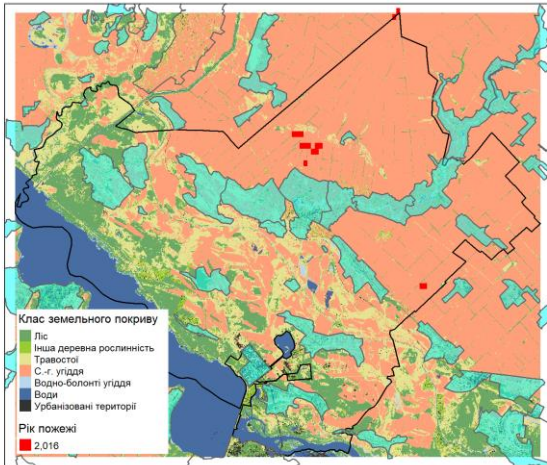
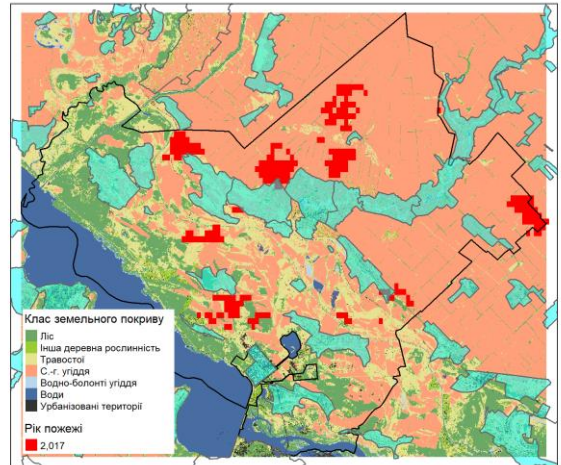


Рис. 3.13. Просторовий розподіл згаріщ за даними MCD64 за 2010–2015 рр. (блакитними полігонами позначено населені пункти)

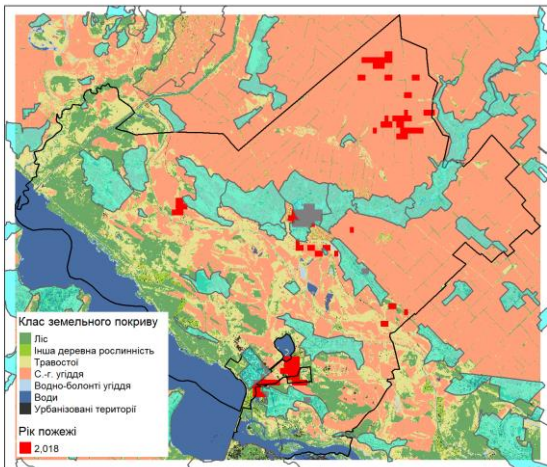
2016



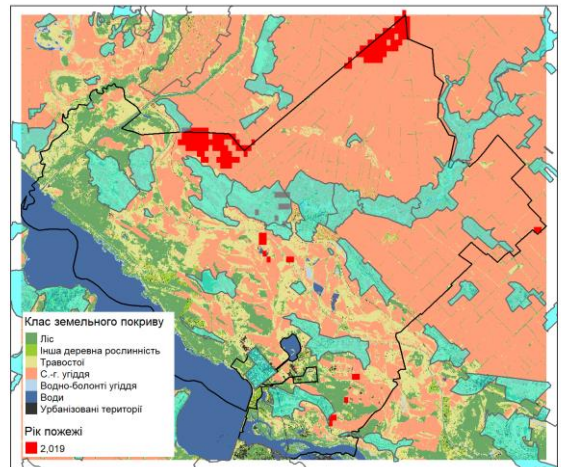
2017



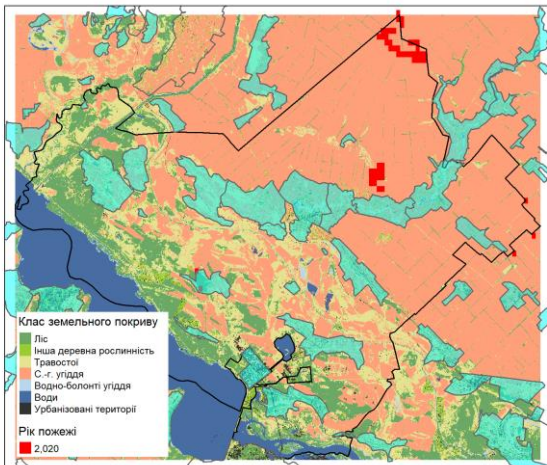
2018



2019



2020



2021

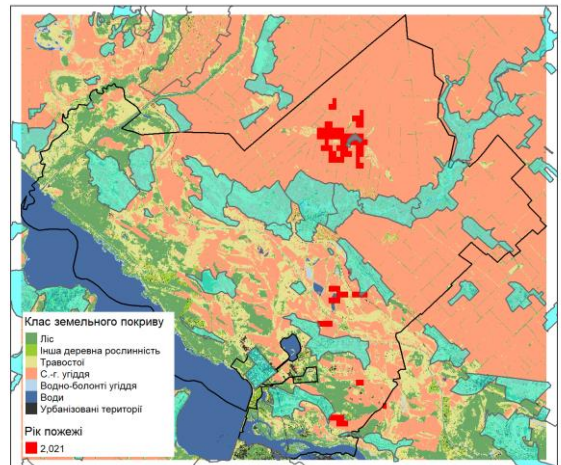


Рис. 3.14. Просторовий розподіл згаріщ за даними MCD64 за 2016–2021 рр. (блакитними полігонами позначено населені пункти)

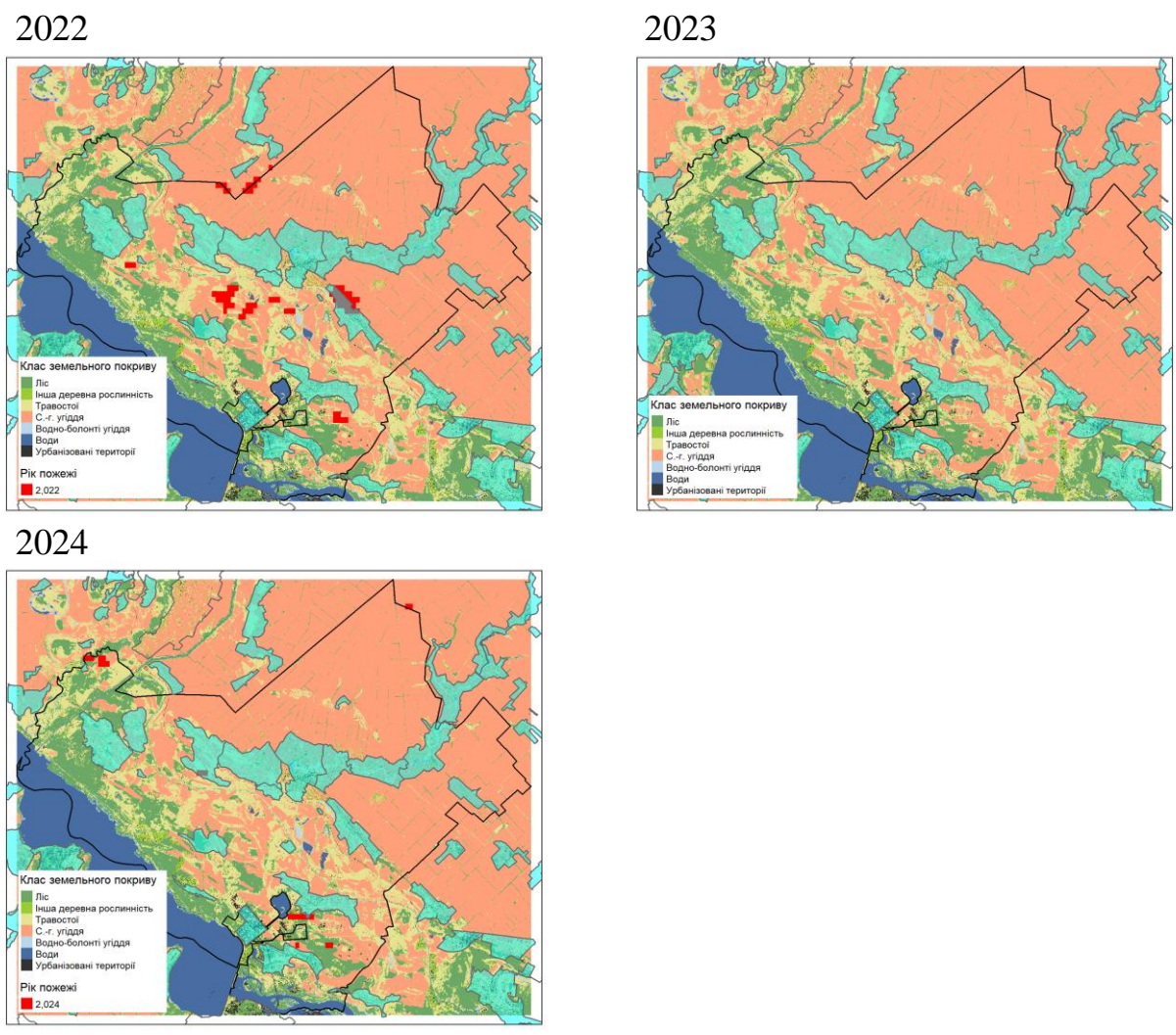


Рис. 3.15. Просторовий розподіл згарищ за даними MCD64 за 2022-2024 рр. (блакитними полігонами позначено населені пункти)

Проведений у розділі аналіз продемонстрував, що сучасні технології дистанційного моніторингу пожеж є надзвичайно важливим інструментом, який дозволяє відтворити багаторічну динаміку пожеж і виконувати поточне спостереження на великій території. Враховуючи, що дані постачаються в цифровому вигляді, існує можливість поєднувати дані про пожежі з різними шарами в ГІС та одержувати корисну інформацію. Наприклад в бакалаврській роботі доведено зв'язок поширення пожеж поблизу населених пунктів. Також виявлено велику частку пожеж на сільськогосподарських землях. Ця обставина

викликає потребу переходу до моніторингу пожеж на ландшафтному рівні, що потребує міжвідомчої координації зусиль.

Висновки до третього розділу

1. Дані про термальні аномалії FIRMS забезпечують оперативне інформування про поточну пожежну ситуацію, та дозволяють виконувати багаторічний аналіз появи та розподілу пожеж на території.

2. Поєднання даних про пожежі з іншими геопросторовими шарами дозволяє виконувати детальний аналіз умов виникнення пожеж на різних типах ландшафтів.

3. Дані MODIS з щомісячними периметрами пожеж можуть використовуватися для реконструкції історичних пожежних режимів задля розробки стратегії управління лісовими пожежами.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження, що базується на аналізі супутникових даних сенсора MODIS за період 2004–2024 рр., дозволило сформуванню цілісного уявлення про просторові та часові закономірності виникнення та поширення пожеж на території Петриківської територіальної громади Дніпропетровської області. Залучення відкритих супутникових продуктів, таких як FIRMS (термальні аномалії) та MCD64A1 (площі згаріщ), у поєднанні з сучасними ГІС-технологіями дозволило отримати об'єктивну картину пожежної активності у регіоні на міжрічному, сезонному та просторовому рівнях.

По-перше, на основі даних про термальні аномалії встановлено наявність стійких зон підвищеної пожежної активності, які найчастіше збігаються з лісовими масивами або прилеглими до них відкритими ділянками (поля, чагарники). Найбільша щільність пожеж фіксувалася у центральній частині громади, що, ймовірно, пов'язано з присутністю молодих соснових насаджень на піщаних ґрунтах, які є пожежонебезпечними за умов підвищеної температури та низької вологості.

Аналіз показав, що основним чинником виникнення пожеж виступає антропогенний вплив, зокрема сільськогосподарська діяльність населення. Попри це, чіткого зв'язку між відстанню до населених пунктів та кількістю пожеж не виявлено, що свідчить про складну і багатофакторну природу поширення вогню. Суттєву роль відіграє також характер землекористування, зокрема частка сільськогосподарських угідь, які традиційно піддаються палінню для очищення ділянок.

Особливої уваги заслуговує сезонність пожежної активності. Як показав аналіз, понад 70 % усіх пожеж припадає на літній період (червень-серпень), що є типовим для природних умов степової зони України. Разом із цим спостерігається

бімодальна структура розподілу пожеж протягом року: з піками у весняний (березень-квітень) та осінній (серпень-жовтень) періоди. Такі піки напряму пов'язані з традиційними фазами аграрної діяльності – підготовкою полів до сівби та прибиранням врожаю, що часто супроводжується спалюванням рослинних залишків.

Протягом аналізованого періоду виявлено загальну тенденцію до зменшення кількості пожеж, особливо в останні роки. Цей тренд може бути зумовлений як жорсткішим контролем за використанням відкритого вогню, так і зниженням інтенсивності землеробства через соціально-економічні та військові чинники. Водночас не виключено, що зміни в демографічній структурі населення, спричинені воєнними діями, сприяли зменшенню навантаження на територію.

Дані про площі згарищ (продукт MCD64A1) підтвердили висновки, отримані на основі термальних точок. Виявлено, що найбільші згарища були зафіксовані в першій половині аналізованого періоду (особливо у 2005 та 2008 рр.), що узгоджується із піками кількості пожеж. Пізніше кількість великих згарищ значно скоротилася, а в окремі роки (наприклад, 2023 р.) взагалі не було зафіксовано жодного великого вигорання. Однак слід враховувати, що картографування згарищ у степових умовах має свої особливості – переорані землі можуть мати спектральну схожість із вигорілими ділянками, що ускладнює класифікацію.

Особливо важливим є виявлений дисбаланс між площею лісів у регіоні (яка є незначною) та кількістю пожеж, що сталися на цих територіях. Близько 10 % усіх пожеж зафіксовано саме в лісах, що майже вдвічі перевищує відносну площу лісистості території. Це свідчить про підвищену вразливість лісових насаджень, особливо молодих, до вогневого ураження, що вимагає вдосконалення локальної стратегії лісоуправління та заходів попередження пожеж.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі результатів проведеного дослідження щодо просторово-часових закономірностей виникнення та поширення пожеж на території Петриківської територіальної громади, сформовано низку практичних рекомендацій для покращення системи моніторингу, попередження та реагування на лісові й ландшафтні пожежі.

1. Удосконалення моніторингу пожежної небезпеки – рекомендується створити постійну цифрову карту ризиків, яка включатиме зони підвищеної пожежної активності, виявлені за супутниковими даними (MODIS, FIRMS). Таке зонування дозволить оперативно планувати профілактичні заходи, зокрема в межах центральної частини громади та біля соснових насаджень на легких ґрунтах.

2. Удосконалення супутникового моніторингу пожеж – необхідно впровадити систематичне використання безкоштовних супутникових продуктів (MODIS, VIIRS) для відстеження термальних аномалій, аналізу згарищ та контролю за ефективністю пожежогасіння. Доцільно інтегрувати дані у відкриті ГІС-платформи, наприклад Google Earth Engine, для оперативної візуалізації та прийняття рішень.

3. Контроль за спалюванням залишків сільськогосподарської продукції – з огляду на те, що більшість пожеж має антропогенне походження, особливо у весняний та осінній періоди, доцільно жорстко дотримуватися заборони на спалюванні стерні й рослинних залишків. Необхідно розробити систему штрафів, супроводжену просвітницькими заходами серед місцевого населення.

4. Лісогосподарські заходи – у зв'язку з підвищеною вразливістю лісів, зокрема молодих штучних насаджень, слід посилити протипожежні заходи, спрямовані на зменшення запасів горючих матеріалів. Доцільно встановити інформаційні щити про заборону розведення вогню у лісах та збільшити частоту патрулювання у пожежонебезпечний сезон.

5. Розробка локального плану реагування – необхідно створити щорічний оперативний план з реагування на пожежі із прив’язкою до періодів підвищеного ризику (березень-квітень, липень-жовтень). План має передбачати порядок сповіщення, маршрути під’їзду, відповідальних осіб, а також резерви води та техніки.

6. Використання аналітики для управління – рекомендується застосовувати результати супутникового аналізу для обґрунтування фінансування профілактичних заходів, оцінки збитків та формування звітності до органів екологічного контролю. Дані про згарища та кількість пожеж можуть стати основою для розробки регіональних програм з охорони лісів.

7. Міжвідомча взаємодія – необхідно посилити співпрацю між лісовим господарством, органами місцевого самоврядування, аграрними підприємствами та ДСНС. Варто створити спільну електронну платформу для обміну інформацією про виявлені загоряння, хід гасіння та відновлення постраждалих територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисенко О. І., Мешкова В. Л. Прогнозування поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами ГІС. Харків : Планета-Прінт, 2021. 150 с.
2. Гербут Ф. Ф. Лісова пірологія. Ужгород : УНУ ГФ, 2012. 103 с.
3. Гірс О. А., Новак Б. І., Кашпор С. М. Лісовпорядкування : підруч. К. : Арістей, 2004. 384 с.
4. Гром М. М. Лісова таксація: Підручник. Видання друге виправлене і доповнене. Львів : РВВ НЛТУ України. 2007. 416 с.
5. Державне агентство лісових ресурсів України : Державні сайти України. URL: <https://forest.gov.ua/> (дата звернення 27.05.2025).
6. Зібцев С. В., Лакида П. І., Яворовський П. П., Маурер В. М. та ін. Інтегрована система охорони лісів від пожеж : монографія. Київ: Вид-во «Наукова столиця», 2020. 350 с.
7. Зібцев С. В., Яворовський П. П., Сендонін С. Є., Токарева О. В. та ін. Лісова пірологія : підручник. Вид. 2-ге, доповнене і перероблене. Київ: Наукова Столиця, 2020. 424 с.
8. Зібцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2019. Вип. 10. № 3. С. 27-40.
9. Інструкція з впорядкування лісового фонду України. Частина І. Польові роботи. Ірпінь: ВО «Укрдержліспроєкт», 2006. 67 с.
10. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи : підручник для студ. вищих навч. закладів. Київ : Вища школа, 2009. 512 с.
11. Краснов В. П., Мешкова В. Л., Усцький І. М. Сучасний санітарний стан лісів України. *Науковий вісник НАУ: Вип. 39 (Лісівництво)*. 2001. С. 133–140.

12. Лакида П. І. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів лісотвірних порід України. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В. М., 2013. 457 с.

13. Лісова енциклопедія України: у 2 т. Т. 2. Київ: Урожай, 1995. 500 с.

14. Лісовий кодекс України: Закон України від 21.01.1994 № 3852-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12> (дата звернення 27.05.2025).

15. Миклуш С. І., Гаврилюк С. А., Часковський О. Г. Дистанційне зондування землі в лісовому господарстві : навчальний посібник. Львів: ЗУКЦ, 2012. 324 с.

16. Миронюк В. В., Свинчук В. А., Білоус А. М., Василюшин Р. Д. Лісова таксація: навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2019. 220 с.

17. Павліщук О. П., Кравець П. В., Василюшин Р. Д. Менеджмент лісових ресурсів: підручник. Київ. Корсунь-Шевченківський : ФОП Майдаченко І. С., 2020. 350 с.

18. Правила пожежної безпеки в лісах України : наказ Держкомлісгоспу України від 27.12.2004 № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05>.

19. Практичний посібник по закладці тренувальних пробних площ, а також пробних площ на рубках догляду. Ірпінь: ВО «Укрдержліспроект», 1994. 44 с.

20. Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок : Постанова Кабінету Міністрів України від 16.05.2007 р. № 733. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2007-%D0%BF>

21. Про затвердження Санітарних правил в лісах України : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.07.1995 р. № 555. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF>

22. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Киричок Л. С. Лісівництво : підруч. для підготовки фахівців аграрних вузів II-IV рівнів акредитації / за ред. В. Є. Свириденка. Київ : Арістей, 2008. 544 с.

23. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Швиденко А. Й. Лісова пірологія : підручник. Агрпромовидав України. Київ. 1999. 172 с.
24. Швиденко А. Й. Данилова О. М. Лісова дендрологія: Навчальний посібник. Чернівці: Зелена Буковина, 2001. 228 с.
25. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Устименко П. М., Вакаренко Л. П., Попович С. Ю. Ценотаксономічне різноманіття лісів України: методи оцінки та синфітосозологічна класифікація. Укр. ботан. журн. 2010. 56, №1. С. 74–78.
26. FIRMS: Fire Information for Resource Management System. NASA Earth Data. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>.
27. Giglio L., Boschetti L., Roy D. P., Humber M. L., Justice C. O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 217. P. 72 - 85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>.
28. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18 - 27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
29. Hall J. V., Zibtsev S. V., Giglio L., Skakun S. et al. Environmental and political implications of underestimated cropland burning in Ukraine. Environmental Research Letters. 2021 Vol. 16(6). Article ID: 064019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfc04>.
30. LIDAR-сканування українських лісів буде виконуватися на безпілотниках МВС України : інтернет ресурс. URL: <https://forest.gov.ua/news/lidar-skanuvannia-ukrainskykh-lisiv-bude-vykonuvatysia-na-bezpilotnykakh-mvs-ukrainy> (дата звернення 27.05.2025).
31. MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500 m SIN Grid. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v061/>.
32. Myroniuk V., Weinreich A., Von Dosky V., Melnychenko V. et al. Nationwide remote sensing framework for forest resource assessment in war-affected Ukraine. Forest

Ecology and Management. 2024. Vol. 569. Article Id: 122156.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122156>.

33. Soshenskyi O., Zibtsev S., Gumeniul V., Goldammer J. G. et al. The current landscape fire management in Ukraine and strategy for its improvement. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021. Vol. 9(2). P. 39–51.