

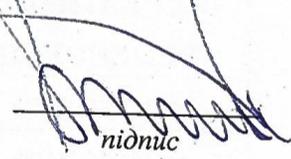
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Агробіотехнологічний факультет

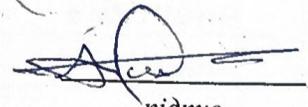
Спеціальність 205 «Лісове господарство»

«Допускається до захисту»
Зав. кафедри лісового господарства
професор В.М. Хрик
« 18 » серпня 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
ВИКОРИСТАННЯ ГІС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНКИ
ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ У ЛІСОВИХ МАСИВАХ КИЇВСЬКОЇ
ОБЛАСТІ

Виконав: *Галанзовський Даниил Юрійович* 
прізвище, ім'я, по батькові підпис

Керівник: *професор Хрик В.М.* 
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

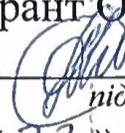
Рецензент: *асист. Кочеригін Л.Ю.* 
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Я, Галанзовський Даниил Юрійович, засвідчую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

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

Факультет агробіотехнологічний
Спеціальність 205 «Лісове господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОП «Лісове господарство»
 доцент Лозінська Т.П.
підпис, вчене звання, прізвище, ініціали
«23» 06 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу
Галанзовському Данилу Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема «**Використання ГІС для моніторингу та оцінки лісових пожеж у лісових масивах Київської області**»

керівник роботи Хрик Василь Михайлович, д-р пед. наук, професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджено наказом ректора № 87/3 від «15» травня 2025 р.

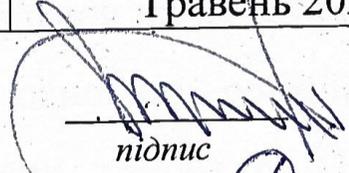
Термін здачі здобувачем виконаної роботи «10» серпня 2025 р.

Вихідні дані: нормативно-правові акти в галузі лісгосподарської діяльності, щорічні звіти державного агентства лісових ресурсів України, відкриті Інтернет-джерела даних ГІС спостережень за лісовими пожежами, веб-сайт «Товариство лісівників України»

Календарний план виконання роботи:

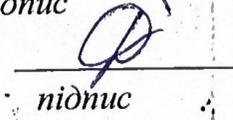
Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	Листопад-грудень 2024 р.	<i>виконано</i>
Методична частина	Січень-лютий 2025 р.	<i>виконано</i>
Дослідницька частина	Березень-квітень 2025 р.	<i>виконано</i>
Оформлення роботи	Травень 2025 р.	<i>виконано</i>
Перевірка на плагіат	Травень 2025 р.	<i>виконано</i>
Попередній розгляд на кафедрі	Травень 2025 р.	<i>виконано</i>
Подання на рецензування	Травень 2025 р.	<i>виконано</i>

Керівник кваліфікаційної роботи


підпис

професор Хрик В.М.
вчене звання, прізвище, ініціали

Здобувач кваліфікаційної роботи


підпис

Галанзовський Д.Ю.
прізвище, ініціали

Дата отримання завдання «15» листопада 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Галанзовський Даниил Юрійович Використання ГІС для моніторингу та оцінки лісових пожеж у лісових масивах Київської області.

У кваліфікаційній роботі розглянуто застосування геоінформаційних систем (ГІС) для моніторингу та оцінки лісових пожеж у межах лісових масивів Київської області. Актуальність теми зумовлена зростанням частоти та масштабів лісових пожеж, що спостерігаються в умовах змін клімату, антропогенного впливу та воєнних дій, які значно ускладнюють реагування на надзвичайні ситуації в екосистемах.

Мета дослідження полягає у створенні просторово-аналітичної моделі виявлення та оцінювання пожежних осередків з використанням супутникових даних, інструментів ДЗЗ та сучасного програмного забезпечення на базі ГІС-технологій. У роботі використано відкриті супутникові продукти MODIS, що дозволяють виявляти термальні аномалії та згарища з високим рівнем просторово-часової деталізації.

У результаті дослідження було ідентифіковано та картографовано понад 2000 пожежних «гарячих точок», зафіксованих у лісових масивах Київської області протягом 2006–2024 років. Застосування платформи Google Earth Engine дало змогу обробити великі масиви супутникових даних, згрупувати пожежі за інтенсивністю, просторовим охопленням та сезонною динамікою. Особлива увага приділялась аналізу просторової концентрації пожеж поблизу транспортних шляхів, населених пунктів, а також у районах із підвищеною пожежонебезпекою.

Кваліфікаційна робота викладена на 80 сторінках комп'ютерного тексту. Робота складається з чотирьох основних розділів, висновків, пропозицій з виробництва, список використаних джерел із 47 позицій та ілюстрована 5 таблицями і 12 рисунками.

Ключові слова: геоінформаційні системи, лісові пожежі, моніторинг, дистанційне зондування Землі, ГІС-технології.

ABSTRACT

Galanzovskyi Daniil Yuriyovych Using GIS for monitoring and assessing forest fires in forest areas of the Kyiv region.

The qualification work considers the use of geographic information systems (GIS) for monitoring and assessing forest fires within the forest areas of the Kyiv region. The relevance of the topic is due to the increase in the frequency and scale of forest fires observed in the context of climate change, anthropogenic impact and military actions, which significantly complicate the response to emergencies in ecosystems.

The purpose of the study is to create a spatial-analytical model for detecting and assessing fire centers using satellite data, remote sensing tools and modern software based on GIS technologies. The work uses open MODIS satellite products, which allow detecting thermal anomalies and burns with a high level of spatio-temporal detail.

As a result of the study, more than 2,000 fire «hot spots» recorded in the forest areas of the Kyiv region during 2006–2024 were identified and mapped. The use of the Google Earth Engine platform made it possible to process large amounts of satellite data, group fires by intensity, spatial coverage and seasonal dynamics. Particular attention was paid to the analysis of the spatial concentration of fires near transport routes, settlements, as well as in areas with increased fire hazard.

The qualification work is presented on 80 pages of computer text. The work consists of four main sections, conclusions, production proposals, a list of sources used with 47 items and is illustrated with 5 tables and 12 figures.

Keywords: geographic information systems, forest fires, monitoring, remote sensing of the Earth, GIS technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГІС У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ	9
1.1. Поняття та принципи роботи геоінформаційних систем.....	9
1.2. Особливості лісових екосистем України	11
1.3. Види і причини виникнення лісових пожеж.....	13
РОЗДІЛ 2. РОЛЬ ГІС У ПРОГНОЗУВАННІ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ.....	18
2.1. Методи просторового аналізу для виявлення пожежонебезпечних зон.....	18
2.2. Моделювання ризиків виникнення пожеж.....	20
2.3. Інтеграція супутникових даних у прогнозування	22
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННІ ПОЖЕЖАМИ.....	26
3.1. ГІС як інструмент моніторингу лісових пожеж в Україні та Київщині ..	26
3.2. Картографування осередків пожеж у Київській області та оптимізація ресурсів для гасіння пожеж.....	44
3.3. Приклади впровадження ГІС-технологій в Україні та світі.....	49
3.4 Застосування ГІС-технологій та дистанційного зондування в задачах моніторингу лісових пожеж на Київщині	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ГІС У СФЕРІ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА	63
4.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі з ГІС і польовими даними.....	63
4.2 Техніка безпеки при роботі та організації роботи.....	66
4.2.1 Техніка безпеки при роботі з комп'ютерним обладнанням та програмним забезпеченням.....	66
4.2.2 Вимоги до організації робочого місця оператора ГІС.....	67
4.3 Дотримання протипожежних заходів при польових дослідженнях	69
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

У сучасних умовах кліматичних змін, підвищення температури повітря та зростання частоти екстремальних погодних явищ, проблема лісових пожеж набула особливої актуальності для України. Щороку сотні гектарів лісових угідь зазнають значних втрат внаслідок неконтрольованого поширення вогню, що спричиняє не лише економічні збитки, а й серйозну шкоду екології, біорізноманіттю та здоров'ю населення. Особливо гостро це питання постає в лісостеповій і поліській зонах, де значні площі вкриті хвойними лісами, вразливими до займання.

У зв'язку зі зростанням частоти та масштабів лісових пожеж в Україні на тлі змін клімату та антропогенного впливу, актуальним стає впровадження сучасних інформаційних технологій, зокрема геоінформаційні системи, для ефективного прогнозування, моніторингу та управління надзвичайними ситуаціями. Геоінформаційні системи дають змогу з високою точністю і швидкістю аналізувати великі обсяги просторових даних, що критично важливо для мінімізації екологічних та соціально-економічних збитків. Україна щороку зазнає значних екологічних і економічних збитків унаслідок загорянь у лісових масивах. Особливо небезпечними є пожежі в екологічно вразливих регіонах, таких як Чорнобильська зона відчуження, Карпати та Полісся.

Ефективне управління та запобігання лісовим пожежам потребує використання сучасних цифрових технологій. Геоінформаційні системи відіграють важливу роль у цій сфері, забезпечуючи збір, аналіз і візуалізацію просторових даних, що дозволяє оперативно реагувати на надзвичайні ситуації. ГІС-технології сприяють як прогнозуванню можливих зон загорянь, так і оптимізації дій під час ліквідації пожеж [1].

У процесі дослідження ставились такі завдання:

1. Розкрити поняття, принципи функціонування та структуру геоінформаційних систем з урахуванням особливостей їх застосування в лісовому господарстві.

2. Проаналізувати лісові екосистеми України з точки зору їх вразливості до пожеж та екологічних наслідків займання.
3. Класифікувати види лісових пожеж та визначити основні причини їх виникнення на території України та Київщини.
4. Оцінити можливості просторового аналізу та моделювання в межах ГІС для виявлення пожежонебезпечних територій Київської області.
5. Дослідити методи прогнозування ризиків виникнення пожеж, зокрема з використанням супутникових даних, метеоінформації та інших джерел.
6. Вивчити приклади практичного застосування ГІС для моніторингу та управління лісовими пожежами, як в Україні, так і за її межами.
7. Розглянути роль ГІС у підвищенні ефективності реагування на пожежі, зокрема в оптимізації розподілу ресурсів та координації дій.
8. Визначити потенційні небезпеки під час роботи з ГІС у лісових умовах та сформулювати рекомендації щодо дотримання техніки безпеки та охорони праці.
9. Окреслити вимоги до організації робочого місця оператора ГІС та заходи протипожежної безпеки при виконанні польових досліджень.

Метою дослідження є визначення ролі та ефективності застосування ГІС-технологій у процесі прогнозування та управління лісовими пожежами в Україні і на території Київської області.

Об'єктом дослідження є система управління та реагування на лісові пожежі в Україні і на території Київської області.

Предметом дослідження є ГІС-технології як інструмент прогнозування, моніторингу та управління лісовими пожежами.

Ці завдання спрямовані на комплексне розкриття теми та практичне обґрунтування доцільності впровадження ГІС-технологій у сферу лісового управління та протипожежного захисту.

Практичне значення роботи полягає в узагальненні досвіду впровадження ГІС у лісове господарство та рекомендаціях щодо їх подальшого розвитку і адаптації в Україні.

Результати дослідження можуть бути використані для:

- розробки національних та регіональних стратегій запобігання пожежам,
- вдосконалення систем раннього сповіщення,
- ефективного розміщення технічних і людських ресурсів,
- навчання фахівців із надзвичайних ситуацій та лісового господарства.

Подальше вдосконалення та інтеграція ГІС із технологіями штучного інтелекту, безпілотними літальними апаратами та сенсорними мережами дозволить створити автоматизовані системи попередження та реагування, що значно зменшить шкоду від пожеж та покращить екологічний стан лісів в Україні.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГІС У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ

1.1. Поняття та принципи роботи геоінформаційних систем

У сучасному світі, де інформація стає все більшою цінністю, особливе місце займають геоінформаційні системи. Вони є потужними інструментами для збору, збереження, аналізу та візуалізації просторових даних, які пов'язані з об'єктами на поверхні Землі. Використання ГІС охоплює широкий спектр галузей – від екології й містобудування до сільського господарства, логістики, національної безпеки та охорони здоров'я.

Геоінформаційні системи – це комп'ютерні системи, що призначені для збору, зберігання, аналізу, обробки та візуалізації просторових (географічних) даних. Вона поєднує в собі апаратні засоби, програмне забезпечення, дані, а також методи і персонал, необхідні для збору, обробки, аналізу та представлення географічної інформації. Основою ГІС є здатність поєднувати просторову (географічну) інформацію з атрибутивною (описовою), що дозволяє здійснювати глибокий аналіз об'єктів і явищ у певному просторі та часі [34].

Геоінформаційна система складається з кількох ключових компонентів:

1. Апаратура – комп'ютери, сервери, GPS-пристрої, сканери, плотери тощо.

2. Програмне забезпечення – спеціалізовані програми (наприклад, ArcGIS, QGIS, MapInfo), що забезпечують обробку, аналіз і візуалізацію геоданих.

3. Геодані – основа будь-якої ГІС. Вони можуть бути векторними (точки, лінії, полігони) або растровими (знімки, карти, супутникові зображення).

4. Людські ресурси – користувачі та аналітики, які створюють, підтримують і застосовують ГІС.

5. Методи і технології – моделі, алгоритми та методики аналізу просторових даних.

Основна логіка функціонування геоінформаційної системи полягає у поетапній роботі з просторовими даними:

1. *Збір даних.* На цьому етапі здійснюється накопичення географічної інформації за допомогою різних джерел: GPS-навігації, аерофотознімків, супутникових даних, топографічних карт, польових обстежень тощо.

2. *Зберігання даних.* Всі зібрані дані зберігаються в геобазах даних, які дозволяють ефективно організовувати, оновлювати й управляти інформацією. Структура зберігання враховує просторову та атрибутивну складові.

3. *Обробка та аналіз.* Один із найважливіших етапів. Сюди входить редагування, перетворення форматів, узгодження шарів даних. Аналітичні інструменти ГІС дозволяють виконувати просторові запити, моделювання, побудову буферних зон, просторову статистику тощо.

4. *Візуалізація.* Дані подаються у вигляді карт, графіків, діаграм. Це дозволяє краще розуміти просторові взаємозв'язки, виявляти закономірності та робити висновки.

5. *Розповсюдження інформації.* Результати аналізу можуть публікуватися у вигляді вебкарт, інтерфейсів для мобільних додатків, друкованих карт або інтегруватися в інші системи [31].

ГІС надає ряд переваг, які роблять її незамінною в багатьох сферах:

- ефективне прийняття рішень – завдяки точному аналізу просторових даних можна швидше і точніше реагувати на зміни в навколишньому середовищі або суспільстві;

- підвищення прозорості управління – використання відкритих карт і геоінформацій дозволяє громадянам брати активну участь у плануванні територій;

- інтеграція з іншими системами – ГІС може працювати у зв'язці з САД, ВІМ, ІоТ, екологічними моніторинговими системами тощо.

ГІС дозволяє об'єднати різні шари інформації – наприклад, рельєф, типи ґрунтів, густоту рослинності та кліматичні умови – для виявлення залежностей і прогнозування ризиків, зокрема виникнення лісових пожеж.

Таким чином, геоінформаційні системи – це невід’ємна частина сучасного інформаційного середовища. Вони відкривають нові можливості для аналізу світу навколо нас, дозволяють краще розуміти просторові процеси та ефективно управляти територіями. З огляду на глобальні виклики, такі як зміна клімату, урбанізація та демографічні зміни, роль ГІС буде лише зростати, а потреба в спеціалістах з цієї галузі – набувати все більшої актуальності.

1.2. Особливості лісових екосистем України

Лісові екосистеми є одним із найважливіших природних багатств України. Вони виконують не лише екологічну, але й економічну, кліматорегулюючу та соціальну функцію. Ліси – це джерело біорізноманіття, кліматичного балансу, ґрунтозахисту, а також осередок рекреації та культурної спадщини. Однак ці унікальні системи потребують дбайливого ставлення та комплексного підходу до збереження і сталого управління.

Україна має досить різноманітні лісові масиви, які займають приблизно 16% території країни (приблизно 10,4 млн га). За структурою і розташуванням лісів країна поділяється на три головні природно-географічні зони:

1. Полісся (північна частина України) – займає близько 40% усіх лісів. Переважають соснові та мішані ліси.
2. Лісостеп – приблизно 34% загальної площі лісів, характеризується широколистяними породами (дуб, клен, граб).
3. Карпати та Кримські гори – гірські лісові екосистеми (близько 20%), з переважанням бука, ялини, смереки, а в Криму – сосни кримської та дуба пухнастого [30].

Українські ліси є домівкою для тисяч видів флори і фауни. Тут зростають рідкісні й ендемічні рослини, такі як лілія лісова, підсніжник білосніжний, папороть страусове перо. У лісах мешкають численні види ссавців (олені, кабани, рисі, вовки), птахів (глухарі, сови, дятли), земноводних і комах.

Ліси активно впливають на мікроклімат, сприяють збереженню вологи, зменшують ерозію ґрунтів і захищають водозбірні басейни. Особливо важлива

ця функція у Карпатах, де ліси регулюють водний режим багатьох річок.

Лісова підстилка захищає ґрунт від змиву та виснаження. Завдяки кореневим системам дерев запобігається виникненню зсувів, особливо в гірських районах.

Ліси є природними поглиначами вуглецю – завдяки фотосинтезу вони знижують вміст CO₂ в атмосфері та беруть участь у боротьбі зі зміною клімату.

Лісове господарство забезпечує деревину, лікарські рослини, гриби, ягоди, живицю тощо.

Рекреаційна цінність – ліси є популярними місцями відпочинку, туризму, екологічної освіти.

Традиційне використання – у багатьох регіонах збережені лісозаготівельні, мисливські, кулінарні й духовні традиції, пов'язані з лісом.

Проблеми та виклики лісових екосистем України:

1. *Незаконні рубки.* Незаконна вирубка лісу, особливо в Карпатах, є серйозною екологічною загрозою. Вона призводить до деградації лісів, втрати біорізноманіття та руйнування екосистем.

2. *Зміна клімату.* Зміни температурного режиму та вологості впливають на видовий склад лісів, збільшують ризик лісових пожеж, поширення шкідників і хвороб.

3. *Фрагментація лісових масивів.* Через розбудову інфраструктури, сільське господарство та урбанізацію ліси втрачають цілісність, що шкодить міграції видів і функціональній єдності екосистем.

4. *Недостатнє фінансування охорони лісів.* Державна підтримка лісового господарства часто є недостатньою, що ускладнює ефективне управління, боротьбу з шкідниками та протипожежні заходи [30].

Кліматичні зміни, зростання температури та тривалі періоди посухи спричиняють зниження вологості ґрунту й рослинності, що підвищує ризик займання. Крім природних чинників, вагому роль у виникненні пожеж відіграє антропогенний фактор – підпали, необережне поводження з вогнем, порушення

правил відпочинку в лісі.

Шляхи збереження та сталого розвитку:

- законодавче врегулювання – посилення контролю за вирубками, підвищення прозорості у сфері лісокористування.
- екологічна просвіта населення – популяризація важливості лісів, формування відповідального ставлення до природи.
- розвиток екотуризму – як альтернатива вирубкам, створення робочих місць та джерела доходу.
- залісення – активні програми з відновлення лісів на вирубаних або деградованих територіях.
- інтеграція ГІС-технологій – для моніторингу лісів, виявлення незаконних рубок, прогнозування змін екосистем.

Таким чином, лісові екосистеми України – це не лише джерело природних ресурсів, а й основа екологічної рівноваги, біорізноманіття та здоров'я всієї нації. Їхня багатогранність, природна краса та життєво важливі функції вимагають особливого ставлення, зваженого підходу до користування і відповідального управління. Тільки поєднуючи зусилля влади, науковців, громади та бізнесу, можна забезпечити збереження лісів для нинішніх і майбутніх поколінь.

1.3. Види і причини виникнення лісових пожеж

Лісові пожежі – одна з найнебезпечніших і найруйнівніших стихійних катастроф, що загрожують природним екосистемам, життю людей і економіці. Вони щороку завдають величезних збитків у всьому світі, включаючи Україну. Пожежі не лише знищують ліси, але й погіршують якість повітря, викликають загибель диких тварин, руйнують біорізноманіття і спричиняють викиди парникових газів. Розуміння причин і класифікації лісових пожеж є ключем до ефективної боротьби з ними та попередження їх виникнення [17].

Лісові пожежі поділяються на кілька типів:

- наземні (низові) – охоплюють підстилку, трав'яний покрив, чагарники,

не пошкоджуючи крони дерев;

- верхові – поширюються на крони дерев, дуже небезпечні та складні для гасіння;

- підземні (торф'яні) – відбуваються в шарах ґрунту або в торфовищах, важко виявляються і можуть тліти місяцями.

Причинами виникнення пожеж можуть бути:

- природні фактори (удари блискавки, тривала посуха);
- людський фактор (розведення вогнищ, спалювання сухої трави, злочинні підпали);
- техногенні фактори (нещасні випадки на лісогосподарських або військових об'єктах).

Лісові пожежі класифікуються залежно від способу поширення вогню та характеру охопленої території. Основні їх види – низові, верхові та підземні (торф'яні) пожежі.

1. Низові пожежі – ці пожежі поширюються по поверхні землі, знищуючи підстилку, суху траву, хмиз, а також молоді дерева. Це найпоширеніший тип лісової пожежі. Вони можуть бути як слабкими, що тліють повільно, так і дуже інтенсивними, з високою швидкістю поширення. Низові пожежі особливо небезпечні для молодих лісових культур, а також тварин, які мешкають у нижньому ярусі лісу, оскільки вогонь швидко охоплює великі території і ускладнює евакуацію живих організмів.

2. Верхові пожежі – цей тип пожежі охоплює крони дерев і поширюється з одного дерева на інше через верхівки. Зазвичай виникають у хвойних лісах, особливо під час сильної посухи та вітру. Верхові пожежі є надзвичайно небезпечними, оскільки розповсюджуються дуже швидко, часто неконтрольовано, й можуть призводити до повного знищення лісових масивів. Їх гасіння вимагає великих ресурсів і спеціальної авіаційної техніки.

3. Підземні (торф'яні) пожежі – ці пожежі виникають у місцях із накопиченим шаром торфу, зазвичай у вологих або заболочених районах. Підземне горіння розповсюджується під поверхнею ґрунту, може тривати

тижнями або навіть місяцями, іноді залишаючись непоміченим. Такі пожежі важко виявити і ще важче загасити. Вони викликають сильне задимлення, що погіршує якість повітря, та тривале забруднення довкілля.

Причини виникнення лісових пожеж умовно поділяються на природні та антропогенні (людські).

Хоча природні лісові пожежі трапляються рідше, вони мають свою специфіку. Найпоширенішою природною причиною є блискавка – її удар може запалити суху деревину або траву. Також значним чинником є сильна спека і посуха, які підвищують ймовірність займання від будь-якого джерела тепла. Рідкісні, але можливі причини – виверження вулканів або самозаймання торфу, коли торф висихає і за певних умов може запалитися самостійно [29].

Близько 95% лісових пожеж виникають внаслідок людської діяльності. Найпоширенішою причиною є недбале поводження з вогнем: залишені багаття, недопалки, палаюче сміття або навіть скло, що під дією сонця фокусує світло й може спричинити займання.

Іншою серйозною причиною є сільськогосподарські пали – спалювання сухої трави, стерні або залишків врожаю, яке часто виходить з-під контролю. Значну загрозу становлять умисні підпали, які можуть здійснюватися з метою заволодіння землею, отримання деревини або з інших особистих чи комерційних мотивів.

Також до причин належить транспорт і промисловість – іскри від поїздів, обриви електроліній, витoki легкозаймистих речовин. Нарешті, туристична діяльність у літній сезон часто супроводжується нехтуванням правилами безпеки в лісах, що також спричиняє пожежі.

Лісові пожежі мають багатогранний вплив на довкілля, клімат і життя людей. Їхні наслідки часто є катастрофічними не лише для природи, а й для економіки та соціального добробуту населення [4].

Одним із найсерйозніших наслідків є знищення флори і фауни. Пожежі повністю руйнують лісову підстилку, знищують дерева, кущі, трав'янисту рослинність, а також численні види тварин, що не встигають втекти. У

результаті змінюється структура лісових біоценозів – екосистеми втрачають свою стабільність і різноманіття. Пожежі також порушують ґрунтовий покрив, погіршуючи його родючість і водопроникність, що може призводити до ерозії. Крім того, зменшується здатність лісів поглинати вуглекислий газ, що важливо для підтримки балансу вуглецю в атмосфері.

Горіння великої кількості деревини сприяє викиду значних обсягів CO₂, що підсилює парниковий ефект і прискорює глобальне потепління. У результаті пожеж утворюються густі димові хмари, які містять частинки сажі, попелу та токсичних речовин. Це негативно впливає на атмосферу, сприяє утворенню кислотних дощів і погіршує якість повітря. Зміни погодних умов, викликані лісовими пожежами, можуть мати як локальний, так і регіональний масштаб.

Пожежі завдають серйозних збитків лісовому господарству – знищується деревина, порушується логістика і транспортна інфраструктура, руйнуються об'єкти економічної діяльності. Вони становлять пряму загрозу життю та здоров'ю людей, особливо у випадках, коли вогонь наближається до населених пунктів, змушуючи проводити евакуацію. Витрати на гасіння пожеж, ліквідацію наслідків, відновлення лісів та медичну допомогу постраждалим є величезними і лягають на державний та місцеві бюджети.

Для ефективної боротьби з лісовими пожежами важливо не лише вміти їх гасити, а й своєчасно виявляти та запобігати їх виникненню.

Перш за все, необхідне впровадження сучасних систем моніторингу, які дозволяють оперативно виявляти осередки займання. Супутникові технології, дрони та геоінформаційні системи забезпечують точне й швидке виявлення пожеж на ранній стадії. Це дає змогу реагувати до того, як вогонь пошириться на великі площі.

Важливим інструментом є протипожежне зонування лісів – створення спеціальних мінералізованих смуг, протипожежних просік та розривів, які стримують поширення вогню. Такі заходи особливо ефективні у хвойних лісах, де ризик виникнення верхових пожеж є найвищим.

Велику роль відіграє інформаційна робота з населенням. Проведення

просвітницьких кампаній, роз'яснення правил поведінки в лісі, заборона розведення вогню в суху пору року – усе це сприяє зменшенню кількості пожеж, викликаних людською недбалістю.

Необхідним є також посилення правового регулювання. Введення суворішої відповідальності за порушення правил пожежної безпеки, штрафів і кримінального переслідування у разі підпалів можуть стримати безвідповідальних осіб.

Останнім, але не менш важливим, є навчання персоналу – рятувальників, лісників, працівників національних парків та добровольців. Їхнє вміння діяти швидко, злагоджено та з використанням сучасного обладнання – запорука ефективного реагування на надзвичайні ситуації.

Враховуючи складність прогнозування пожеж і необхідність швидкого реагування, роль ГІС як засобу збирання, інтеграції та аналізу інформації стає вирішальною у підвищенні ефективності системи лісопожежного захисту.

Таким чином, лісові пожежі – це не просто тимчасова екологічна проблема, а глибока загроза для стабільності природних і соціальних систем. Вони виникають найчастіше внаслідок людської необережності або халатності, тому надзвичайно важливо формувати культуру екологічної відповідальності серед населення. Ефективна профілактика, моніторинг, законодавче регулювання та відповідальне ставлення до природи – запорука того, що наші ліси залишаться джерелом життя і краси для майбутніх поколінь.

РОЗДІЛ 2

РОЛЬ ГІС У ПРОГНОЗУВАННІ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

2.1. Методи просторового аналізу для виявлення пожежонебезпечних зон

У сучасних умовах частота і масштабність лісових пожеж стрімко зростають через зміну клімату, антропогенне навантаження та деградацію природних екосистем. Одним із ефективних способів попередження та управління такими загрозами є застосування методів просторового аналізу. За допомогою геоінформаційних систем, супутникового моніторингу та математичного моделювання фахівці можуть не лише ідентифікувати потенційно небезпечні ділянки, а й прогнозувати динаміку поширення вогню. Це дозволяє завчасно планувати протипожежні заходи та мінімізувати втрати.

Просторовий аналіз – це процес вивчення просторових даних з метою виявлення закономірностей, зв'язків та взаємозалежностей між природними та соціальними об'єктами. У контексті виявлення пожежонебезпечних зон, основна увага приділяється факторам, які підвищують ризик загоряння, таким як тип рослинності, вологість ґрунту, рельєф, кліматичні умови та людська активність. Завдяки використанню цифрових карт та тематичних шарів можна створювати комплексні моделі ризику, які допомагають оцінити вразливість конкретних територій.

Один із ключових напрямів застосування ГІС у сфері лісового господарства – це просторовий аналіз, який дозволяє визначити зони з підвищеним ризиком виникнення пожеж. Застосування просторових моделей дає змогу поєднувати географічні, кліматичні, біологічні та соціальні чинники для оцінки рівня пожежної небезпеки.

До основних вхідних параметрів аналізу зазвичай входять:

- тип лісу та вік насаджень;
- топографія (висота, схил, експозиція);
- метеорологічні дані (температура, вологість, швидкість вітру);

- густота населення, наявність доріг та інфраструктури.

Одним із найважливіших методів є мультитематика шарів у ГІС. Для цього аналітики об'єднують кілька видів просторової інформації: карту рослинного покриву, карту температури повітря, карту вологості, карту розселення населення, інфраструктури тощо. Поєднання цих даних дозволяє створити індекси пожежної небезпеки, які вказують на ймовірність виникнення займання в певний час і в певному місці. Наприклад, високий рівень сухості та наявність хвойного лісу поблизу доріг значно підвищують ризик пожежі [26].

Ще одним потужним інструментом є аналіз супутникових знімків. Використовуючи дані дистанційного зондування Землі (наприклад, з супутників Sentinel або MODIS), можна в реальному часі моніторити стан рослинності, фіксувати температурні аномалії, виявляти ділянки з низькою вологістю чи вже розпочаті загоряння. На основі таких зображень будуються теплові карти, що дозволяють виявити потенційно небезпечні ділянки до того, як спалахне вогонь.

Моделювання ризику за допомогою математичних алгоритмів також відіграє важливу роль. Застосовуються статистичні та логіко-математичні методи, зокрема регресійний аналіз, кластеризація, нейронні мережі, які дозволяють не лише аналізувати поточні ризики, але й прогнозувати розвиток пожеж на основі історичних даних. Це особливо важливо для гірських і віддалених районів, де людський контроль є обмеженим [25].

Крім того, активно використовуються моделі розповсюдження вогню. Вони враховують напрям і швидкість вітру, схили місцевості, тип пального матеріалу (рослинності), температуру й вологість. Такі моделі допомагають рятувальним службам швидше планувати евакуацію, розміщення протипожежної техніки та визначати пріоритетні напрямки гасіння.

Особливу роль у виявленні небезпечних зон відіграє польова верифікація, тобто перевірка результатів аналізу на місцевості. Вона дозволяє уточнити дані, виявити локальні фактори, які не враховані в загальних моделях, і адаптувати результати просторового аналізу до реальних умов.

На основі цих даних формуються карти пожежонебезпечності, які допомагають лісівникам, екологам і рятувальним службам швидко виявити критичні ділянки та здійснювати профілактичні заходи.

У підсумку, застосування методів просторового аналізу суттєво підвищує ефективність систем управління лісовими пожежами. Завдяки комплексному підходу – поєднанню супутникових даних, геоінформаційних технологій та математичних моделей – можливо не лише реагувати на пожежі, але й діяти на випередження, мінімізуючи ризики та захищаючи екосистеми, населення і економіку. У майбутньому такі підходи стануть основою стратегії сталого лісокористування та природоохоронної політики.

2.2. Моделювання ризиків виникнення пожеж

У сучасних умовах зростаючої екологічної нестабільності та кліматичних змін проблема лісових пожеж набуває глобального масштабу. Одним із найефективніших інструментів прогнозування та управління цією загрозою є моделювання ризиків виникнення пожеж. Це складний науково-практичний процес, що дозволяє оцінити ймовірність виникнення загоряння в певній території, виявити зони підвищеної небезпеки та приймати обґрунтовані рішення щодо запобігання катастроф.

Суть моделювання полягає у створенні цифрових моделей, які імітують взаємодію природних та антропогенних факторів, що впливають на появу і поширення вогню. До таких факторів належать кліматичні умови (температура повітря, рівень опадів, сила вітру), тип рослинності, рельєф місцевості, вологість ґрунтів, щільність населення, наявність доріг, ліній електропередач та інших об'єктів інфраструктури. Моделі ризику можуть бути як статистичними, що ґрунтуються на аналізі минулих подій, так і динамічними, які враховують поточні дані в реальному часі [17].

Одним із основних інструментів у процесі моделювання є геоінформаційні системи. За допомогою багат шарових карт і цифрових моделей місцевості можна проводити просторовий аналіз, виявляти

закономірності й тенденції, формувати карти ризику. Наприклад, об'єднуючи дані про температуру, вологість і тип рослинного покриву, аналітики можуть створити індекси пожежної небезпеки, які чітко демонструють, які ділянки мають найвищу ймовірність загоряння.

ПС-технології активно використовуються для побудови моделей ризику, які дозволяють не лише оцінити ймовірність виникнення пожеж, а й спрогнозувати можливі сценарії їх поширення. Це досягається шляхом математичного моделювання процесів загоряння, враховуючи географічні особливості території.

У моделюванні часто використовуються алгоритми машинного навчання та методи штучного інтелекту. Такі підходи дають змогу аналізувати великі обсяги історичних та оперативних даних, виявляти складні взаємозв'язки між змінними, прогнозувати поведінку пожеж у різних сценаріях. Наприклад, нейронні мережі можуть визначити, які поєднання погодних умов і типів лісу найчастіше призводять до займання, або передбачити, як швидко вогонь пошириться в певному напрямку залежно від сили вітру та рельєфу [20].

Також важливим компонентом є статистичне моделювання, яке базується на аналізі історичних даних про лісові пожежі. Створюються математичні моделі, які дозволяють встановити ймовірність виникнення пожежі на конкретній території на основі частоти подібних подій у минулому. Такі моделі ефективні для виявлення довготривалих тенденцій і зони постійного ризику.

Не менш важливим аспектом є моделювання соціального ризику, пов'язаного з людською діяльністю. Це включає аналіз щільності населення, туристичної активності, транспортних потоків, сільськогосподарських практик (наприклад, спалювання стерні). Такі дані дозволяють передбачити, де й коли найбільше зростає загроза виникнення пожежі через людський фактор.

Одним із прикладів є модель розповсюдження пожежі, яка використовує:

- напрямок і швидкість вітру;
- сухість підстилки;
- наявність природних або штучних перешкод.

Такі моделі дають змогу оперативно розрахувати потенційну зону

ураження, швидкість руху вогню та критичні точки, де потрібно концентрувати ресурси.

Варто зазначити, що ефективне моделювання ризиків виникнення пожеж вимагає постійного оновлення інформації. Тут важливу роль відіграє моніторинг за допомогою супутникових систем та безпілотних літальних апаратів. Оперативні дані про стан лісів, температурні аномалії, вологість повітря та ґрунту інтегруються в моделі для підвищення їхньої точності й актуальності.

Результати моделювання застосовуються у державному управлінні, лісовому господарстві, службах надзвичайних ситуацій. Вони допомагають визначати пріоритетні зони для профілактичних заходів, розміщення протипожежної інфраструктури, планування евакуації населення та розробки стратегії дій у випадку надзвичайної ситуації [22].

Моделювання також дозволяє створити сценарії розвитку пожежі, що дуже важливо при розробці планів реагування та евакуації населення.

Отже, моделювання ризиків виникнення пожеж є надзвичайно важливою частиною сучасної системи безпеки та управління природними ресурсами. Воно поєднує аналітичні підходи, цифрові технології й екологічні знання, дозволяючи не тільки швидко реагувати на пожежі, але й діяти на випередження. Такий підхід є запорукою збереження лісів, захисту людей і зменшення економічних втрат у довгостроковій перспективі.

2.3. Інтеграція супутникових даних у прогнозування

У сучасному світі, де наслідки змін клімату, посухи та людської діяльності суттєво підвищують імовірність лісових пожеж, виникає гостра потреба в ефективних системах раннього попередження. Одним із найважливіших інструментів у цій сфері є супутникові технології, які дозволяють у реальному часі відстежувати стан лісів, виявляти пожежонебезпечні зони та моделювати потенційні загрози. Інтеграція супутникових даних у систему прогнозування ризиків виникнення пожеж

відкриває нові можливості для точного, швидкого й науково обґрунтованого реагування на потенційні небезпеки.

Сучасні ГІС-системи тісно пов'язані з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ), яке забезпечує постійний потік актуальних даних із супутників. Завдяки супутниковим знімкам можна:

- виявляти осередки займань у реальному часі;
- моніторити зміну вегетаційного покриву;
- оцінювати наслідки пожеж (площа вигорілого лісу, інтенсивність ураження).

Для України актуальним є використання даних із супутників Sentinel-2, MODIS, Landsat, а також глобальних сервісів на кшталт NASA FIRMS, які надають інформацію про активні осередки загорянь на основі теплового випромінювання. Тому, супутникове спостереження дає змогу охоплювати великі території, зокрема ті, що важкодоступні для наземного моніторингу. Завдяки цьому забезпечується повна картина стану лісових екосистем, що є базою для аналізу ризиків. Знімки з супутників, таких як Sentinel-2 (програма Copernicus), MODIS (NASA) або Landsat, надають детальну інформацію про тип і щільність рослинності, її вологість, зміни кольору та температури, які є ключовими індикаторами пожежної небезпеки.

Особливу роль у прогнозуванні відіграє аналіз вегетаційних індексів, наприклад NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Цей індекс відображає стан рослинності: чим нижчий показник NDVI, тим вищий рівень сухості, а отже – імовірність загоряння. Завдяки регулярним супутниковим знімкам можна спостерігати за динамікою змін у рослинному покриві, що дозволяє виявляти сезонні коливання ризику та зони, які потребують негайного втручання.

Крім рослинності, важливо враховувати температурні показники поверхні, які також визначаються за допомогою супутників. Наприклад, інфрачервоні датчики можуть виявляти аномально високі температури, які свідчать про надмірне висушування ґрунту та рослин, або навіть фіксувати

початкові осередки займання ще до того, як вогонь стане видимим із землі. Такі технології є основою систем раннього попередження, які дозволяють оперативно мобілізувати ресурси для запобігання поширенню вогню.

Інтеграція супутникових даних у геоінформаційні системи робить можливим створення детальних карт пожежного ризику. У таких картах поєднується просторово-часова інформація про тип рослинного покриву, метеорологічні умови, топографію, людську активність тощо. Завдяки цьому фахівці можуть не тільки оцінити поточний стан території, а й спрогнозувати, де пожежа може виникнути найближчим часом і яким буде її можливий напрямок поширення.

Супутникові дані також активно використовуються у математичних моделях і алгоритмах прогнозування, зокрема в методах машинного навчання. Такі системи навчаються на великій кількості історичних супутникових знімків і реальних випадків пожеж, щоб у майбутньому розпізнавати аналогічні патерни. Це дозволяє створювати інтелектуальні моделі, які можуть автоматично оновлювати карти ризику, попереджати рятувальні служби про підвищену небезпеку й оптимізувати стратегії реагування.

Слід також відзначити роль глобальних супутникових мереж і платформ, як-от FIRMS (Fire Information for Resource Management System) від NASA. Ця система надає відкритий доступ до даних про активні пожежі у режимі майже реального часу. Використання таких платформ значно підвищує координацію між державними установами, екологічними організаціями, службами ДСНС і місцевими громадами.

Однак ефективне використання супутникових даних вимагає відповідної інфраструктури та підготовки фахівців. Необхідні сучасні програмні комплекси, швидкісні канали зв'язку, кваліфіковані аналітики, які вміють інтерпретувати великі обсяги просторової інформації та інтегрувати її в практичні рішення. Лише за таких умов супутникові технології можуть повністю реалізувати свій потенціал у справі захисту лісів.

Цей розділ показує, як саме ГІС допомагає передбачити лісову пожежу до

того, як вона набуде масштабного характеру.

Отже, інтеграція супутникових даних у прогнозування ризиків виникнення лісових пожеж – це потужний інструмент, який дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління природними загрозами. Такий підхід забезпечує високу точність, швидкість і масштабність в оцінці ризиків, що є ключовим чинником у збереженні екосистем, життів людей і майна. У майбутньому розвиток супутникових технологій лише розширить ці можливості, роблячи систему пожежного моніторингу ще більш розумною, ефективною та доступною.

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННІ ПОЖЕЖАМИ

3.1. ГІС як інструмент моніторингу лісових пожеж в Україні та Київщині

Київська область належить до лісостепової фізико-географічної зони України. Загальна площа земель лісового фонду становить близько 800 тис. га, з яких лісистість регіону – близько 26%, що значно перевищує середній показник по Україні (лісистість України – близько 15,9% станом на 2021 рік). Основна частина лісових масивів зосереджена в північній і північно-західній частинах області – у зоні Полісся.

У структурі лісових насаджень домінують соснові ліси (*Pinus sylvestris* L.), що займають понад 50% площі. Також значну частку займають дубові (*Quercus robur* L.), березові (*Betula pendula* Roth), грабові та вільхові насадження. Найпоширенішими є ліси природного походження, хоча після пожеж та вирубок активно створюються і штучні насадження.

На території Київської області функціонують лісогосподарські підприємства, що підпорядковуються Київському обласному та по м. Києву управлінню лісового та мисливського господарства (КОУЛМГ). Основні держлісгоспи: Тетерівський, Київський, Броварський, Білоцерківський, Фастівський, Іванківський, Поліський, Радомишльський та інші.

Ліси області виконують важливі екологічні, захисні, водоохоронні, рекреаційні та господарські функції. Особливу роль відіграють в захисті ґрунтів від ерозії, підтримці водного режиму, очищенні повітря, формуванні локального клімату та збереженні біорізноманіття.

Через розташування області в зоні активної антропогенної діяльності та через воєнні дії (особливо у 2022–2023 роках), ліси Київщини зазнали значного навантаження. Зафіксовані численні випадки мінутання лісових територій, масових вирубок, знищення лісу внаслідок бойових дій і пожеж, зокрема в

часу, що значно скорочує час між виявленням загоряння і початком гасіння.

Розподіл вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, які належать до сфери управління Держлісагентства, за класами природної пожежної небезпеки (Guide for providing forest management in state forest fund of USSR, part 1, 1985) у розрізі адміністративних областей наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розподіл площі лісів України за класами природної пожежної небезпеки
[Зібцев С.В. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні]

Область	Площа лісів		Розподіл площі лісів за класами природної пожежної небезпеки, %					Середній КППН
	тис. га	%	I	II	III	IV	V	
Закарпатська	690,7	7,0	8,7	4,3	37,7	47,9	1,4	3,3
Запорізька	667,5	0,7	14,3	28,5	14,3	14,3	28,6	3,2
Херсонська	177,6	1,8	27,8	11,1	5,6	11,1	44,4	3,2
Одеська	139,2	1,4	7,1	28,6	28,6	7,1	28,6	3,1
Львівська	679,9	6,9	15,9	10,1	31,9	37,8	4,3	3,0
Вінницька	325,1	3,3	6,1	9,1	75,7	6,1	3,0	2,9
Волинська	697,1	7,0	17,1	21,4	21,4	33,0	7,1	2,9
Дніпропетровська	110,9	1,1	18,2	36,3	18,2	9,1	18,2	2,9
Івано-Франківська	583,3	5,9	16,7	6,7	43,3	30,0	3,3	2,9
Миколаївська	69,0	0,7	14,3	28,5	14,3	14,3	28,6	2,9
Полтавська	236,1	2,4	12,5	25,0	37,5	16,7	8,3	2,9
Тернопільська	182,8	1,8	11,8	11,8	58,8	17,6	0,0	2,9
Хмельницька	275,3	2,8	11,1	11,1	55,6	18,5	3,7	2,9
Донецька	142,8	1,4	13,3	40,1	20,0	13,3	13,3	2,8
Кіровоградська	124,7	1,3	7,7	23,1	53,8	7,7	7,7	2,8
Сумська	451,3	4,6	8,9	26,7	46,7	13,3	4,4	2,8
Чернівецька	257,3	2,6	18,5	3,7	51,9	22,2	3,7	2,8
АР Крим	291,3	2,9	13,3	36,7	30,0	3,3	16,7	2,7
Черкаська	310,8	3,1	12,9	22,6	54,8	6,5	3,2	2,7
Луганська	327,9	3,3	17,6	41,2	11,8	14,7	14,7	2,6
Харківська	333,7	3,4	12,1	33,3	42,4	6,1	6,1	2,6
Чернігівська	659,4	6,7	19,4	34,3	17,9	23,9	4,5	2,6
Житомирська	1099,3	11,1	28,2	21,8	29,1	19,1	1,8	2,5
Рівненська	852,4	8,6	27,6	20,7	26,5	19,5	5,7	2,5
м. Київ	34,4	0,3	9,4	62,4	12,5	9,4	6,3	2,4
Київська	736,1	7,4	31,1	27,0	24,3	13,5	4,1	2,3
м. Севастополь	34,3	0,3	25,6	51,2	10,3	2,6	10,3	2,2
Україна	9889,4	100	18,2	21,2	32,9	21,1	6,6	2,8

Така система дистанційного зондування працює наступним чином:

- супутники фіксують теплові аномалії на поверхні Землі;
- отримані дані автоматично передаються в ГІС;
- на основі координат визначається точне місце пожежі;
- інформація надходить до центрів управління та пожежних підрозділів.

ГІС також використовується для створення динамічних моделей поширення вогню. З урахуванням таких факторів, як вітер, вологість, температура, крутість схилів і вид рослинності, система може моделювати, як саме поширюватиметься пожежа. Такі прогнози допомагають пожежникам ефективніше планувати дії, уникати небезпечних маршрутів та мінімізувати ризики для людей і техніки. Особливо актуально це в гірських або віддалених регіонах, де доступ до інформації обмежений, а рішення потрібно приймати миттєво.

Можна навести наступні дані щодо лісових пожеж в Україні за останні роки, зокрема за 2020–2025 роки, які наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Статистика лісових пожеж в Україні (2015–2025) [авторський варіант]

Рік	Кількість пожеж	Площа, пройдена вогнем (га)	Збитки (млн. грн)	Джерело
2015	826	908	—	—
2020	—	~40 000	—	https://ecopolitic.com.ua/ua/news/za-2020-rik-v-ukraini-zaginula-rekordna-kilkist-lisiv/
2021	660	300	2,1	—
2022	1 052	15 800	302,4	—
2023	1 278	51 000	2 050	https://skilky-skilky.info/u-2023-rotsi-lisovi-pozhezhi-okhopyly-v-3-razy-bilshu-terytoriiu/
2024	1 828	23 041,3	49 500	https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/ohorona-lisiv-vid-pozhezh
2025 (січень–лютий)	714	333		https://mediacenter.org.ua/uk/majzhe-v-tri-razi-zbilshilasya-kilkist-pozhezh-v-prirodnih-ekosistemah-z-pochatku-2025-roku-dsns/

До цього можна назвати основні події та збитки втрат лісових площ внаслідок пожеж. Тому проаналізуємо статистичні дані за останні 5 років.

2020 рік. Україна втратила майже 40 тис. га лісу, з яких 28 тис. га були знищені лісовими пожежами. Це є рекордною цифрою за останні 10 років.

Так, у 2020 році з метою запобігання виникненню лісових пожеж підприємства лісового господарства, що підпорядковуються Державному агентству лісових ресурсів України, провели значний обсяг профілактичних заходів. Було створено 35,8 км протипожежних розривів і бар'єрів, а також влаштовано понад 56,7 тис. км мінералізованих смуг, догляд за якими здійснено на загальній протяжності 255,4 тис. км.

У прибережних зонах вздовж доріг загального користування та в місцях масового відпочинку населення було розміщено 12,2 тис. інформаційних матеріалів на тему пожежної безпеки, зокрема аншлагів, плакатів та стендів. Широка інформаційно-просвітницька кампанія охопила понад 7,1 тис. публікацій і виступів у медіа та понад 22,1 тис. лекцій і бесід, присвячених правилам пожежної безпеки у лісах.

Контроль за дотриманням протипожежних вимог здійснювався через понад 25,6 тис. рейдів, за результатами яких до адміністративної відповідальності притягнуто 470 осіб. Загальна сума штрафів склала 159,6 тис. гривень.

Однак, попри вжиті заходи, ситуація залишалася складною через масове випалювання сільськогосподарських угідь та обмеження, спричинені активними бойовими діями на території Луганської області. Ці фактори значно послабили ефективність протипожежної профілактики.

Додатковим ускладненням стало глобальне потепління та зміни клімату, які спричинили різке зростання кількості пожеж та розширення їх ареалу на значні площі лісів та інших природних екосистем. Протягом весняно-літнього періоду пожежі в таких екосистемах стали однією з найсерйозніших загроз для довкілля України.

Тому, вивчення просторового розподілу історичних природних пожеж є ключовим етапом у розумінні закономірностей виникнення та поширення вогняних

осередків, а також важливим компонентом прогностичного моделювання пожежонебезпеки. За відсутності систематичних та географічно точних наземних спостережень, основним джерелом даних для ретроспективного аналізу залишаються результати дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що забезпечують регулярне охоплення великих територій із фіксацією термальних аномалій.

Сучасні супутникові системи — такі як MODIS, VIIRS, Sentinel-3 SLSTR — ведуть багаторазову щоденну зйомку земної поверхні, фіксуючи координати потенційного загорання, а також дату і час спостереження. Завдяки цьому формується база даних, що дозволяє точно відтворити просторово-часову динаміку пожеж, а також ідентифікувати зони з підвищеною повторюваністю займання. Саме повторюваність є одним із важливих індикаторів у побудові ризикових карт та сценаріїв виникнення пожеж у майбутньому.

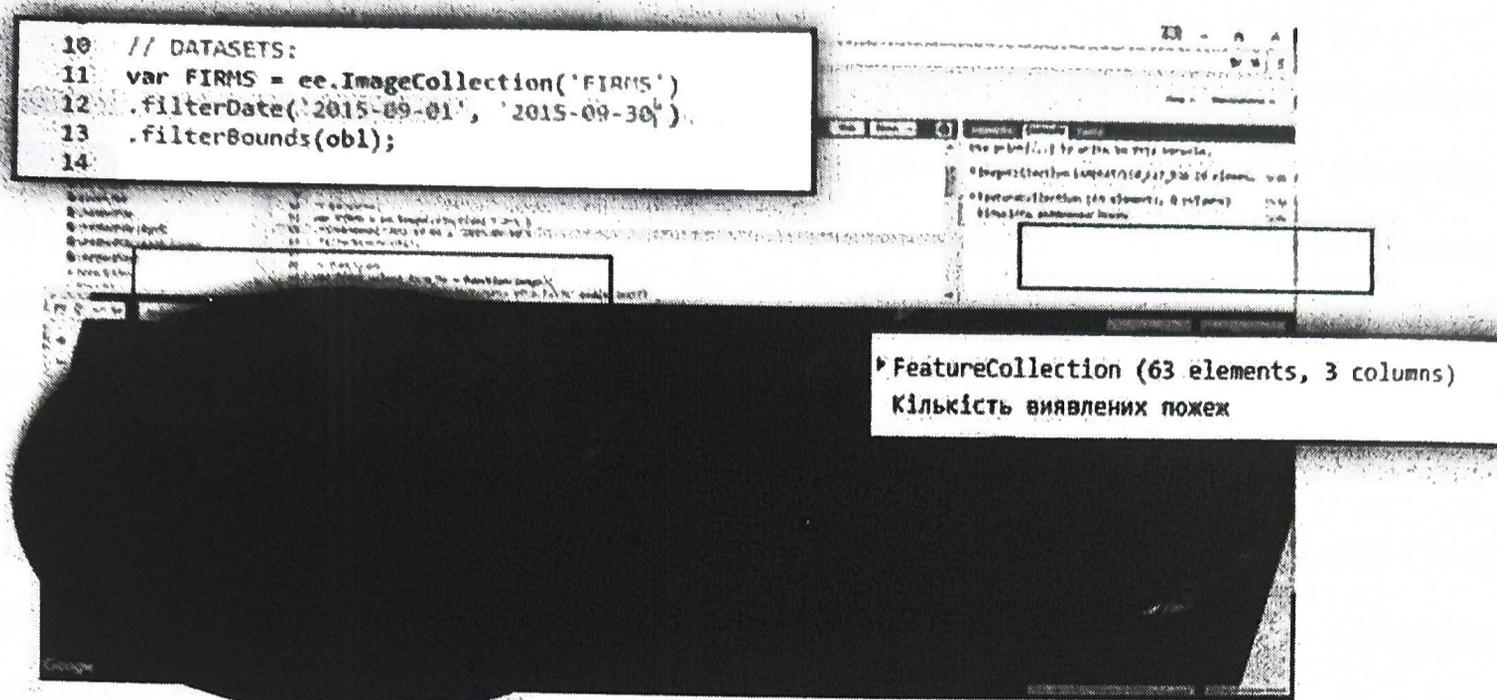
Використання таких історичних даних дозволяє:

- * визначати найбільш уразливі ділянки лісових масивів;
- * встановлювати зв'язки між природними та антропогенними чинниками виникнення пожеж;
- * будувати темпоральні тренди та проводити порівняльний аналіз між окремими сезонами або роками;
- * формувати базу для статистичного моделювання ймовірності пожеж у конкретних геолокаціях.

Таким чином, відтворення історичного просторового розподілу пожеж на основі супутникових даних не лише дає змогу поглибити розуміння причинно-наслідкових зв'язків виникнення лісових загорянь, але й становить основу для прийняття превентивних рішень у системі управління лісовим господарством.

Для моніторингу лісових пожеж на території дослідження було використано супутникові дані про термальні аномалії, отримані з сенсорів MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) у період з 2001 по 2020 роки. Джерелом інформації стали продукти MOD14/MYD14 (Fire and Thermal Anomalies), які реалізують алгоритм виявлення пожеж за допомогою інфрачервоного випромінювання. Кожне спрацювання алгоритму фіксує так

звану «гарячу точку» (hotspot) — центр пікселя розміром 1×1 км, у межах якого виявлено ознаки термічного випромінювання, характерного для відкритого вогню або сильного тління.



1 – вибір дати; 2 – кількість виявлених пожеж (63); 3 – орієнтовні контури пожеж

Рис. 3.1. Використання платформи GEE для дешифрування пожеж на території. [Джерело : https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/chrebz_fire_management_plan_fin_7_08.11.21.pdf]

Однак варто враховувати, що фактична площа пожежі може бути значно меншою за площу пікселя, тож точність виявлення активного горіння залежить від ряду факторів, серед яких найбільш впливовими є інтенсивність теплового випромінювання (температура горіння) та положення супутника під час зйомки. За оцінками розробників, MODIS здатен з імовірністю 0,5 виявити активну пожежу площею близько 100 м^2 , або слабо тліюче вогнище розміром $1000\text{--}2000 \text{ м}^2$ [Giglio et al., 2016].

З метою підвищення достовірності результатів, кожній «гарячій точці» в алгоритмах MOD14/MYD14 присвоюється рівень достовірності:

- * низький (<30%),
- * середній (30–80%),
- * високий (>80%).

Для аналізу у дослідженні було обрано лише ті точки, для яких ймовірність дійсної пожежі становила понад 30%. Це дало змогу уникнути значної кількості хибнопозитивних спрацьовувань, зумовлених іншими джерелами тепла (промисловість, сонячне відбивання тощо).

Ще однією важливою умовою було групування точок у межах великих пожеж. Оскільки один масштабний осередок вогню зазвичай фіксується кількома гарячими точками, для уникнення дублювання було реалізовано кластеризацію за просторово-часовим принципом: точки, які перебували в близькому радіусі та спостерігалися в однаковий або суміжний час, об'єднувались в одну подію.

Обробка та аналіз даних здійснювалися в хмарному середовищі Google Earth Engine (GEE) — потужному платформному інструменті, який забезпечує прямий доступ до архівів супутникових знімків та дозволяє здійснювати просторово-часовий аналіз на основі великого обсягу вхідних даних. За допомогою інструментарію GEE були реалізовані функції фільтрації, візуалізації та кластеризації виявлених термальних аномалій (рис. 1.3).

Доступність супутникових даних, отриманих із сенсорів MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), сприяла створенню широкого спектра тематичних продуктів, які успішно використовуються у глобальному моніторингу земної поверхні, оцінці стану атмосфери, а також в океанографічних дослідженнях. З-поміж них особливої уваги заслуговують продукти вигорілих територій MCD45A1 та MCD64A1, які забезпечують картографування згарищ за параметрами просторового охоплення та дати виникнення пожеж.

Обидва продукти формуються на основі обробки серій знімків MODIS із просторовою розрізненістю 500 м. Продукт MCD45A1 був одним із перших стандартів для виявлення згарищ на глобальному рівні. Він базується на аналізі зміни відбиття поверхні до і після ймовірної пожежі, а також використовує біфуркаційну модель поверхневих змін. Проте подальші дослідження виявили обмеження точності цього методу, зокрема в регіонах з високим ступенем хмарності або інтенсивною рослинністю.

Удосконалений продукт MCD64A1, розроблений командою дослідників під керівництвом L. Giglio та співавт. (2018), використовує гібридний алгоритм, який поєднує байєсівську класифікацію змін відбиття, дані про термальні аномалії (hotspots) та часові ряди індексу горіння (Burned Area Index). Завдяки цьому вдається досягти вищої точності просторової локалізації згарищ, а також точніше визначати дату виникнення пожежі.

Варто зазначити, що MCD64A1 краще працює в умовах мозаїчного ландшафту та є адаптованим до використання як у регіональних дослідженнях, так і в глобальних оцінках вуглецевих втрат через пожежі. Цей продукт активно використовується на платформах Google Earth Engine, NASA FIRMS та в багатьох системах управління ландшафтними ризиками.

Таким чином, впровадження вдосконалених супутникових продуктів, зокрема MCD64A1, значно розширило можливості просторово-часового аналізу лісових пожеж, підвищуючи точність і достовірність моніторингу згарищ у лісових масивах, зокрема в межах Київської області.

У лісах підприємств, підпорядкованих Держлісагентству, було ліквідовано понад 2,5 тис. пожеж, що охопили загалом понад 74,6 тис. га. З цієї площі 19,8 тис. га становили верхові пожежі, а у 50 випадках загоряння класифікувались як надзвичайні ситуації.

Найбільше постраждали Житомирська, Луганська та Харківська області. Зокрема, у північній частині Житомирщини пожежі охопили 43,2 тис. га лісу, з яких 6,4 тис. га були пройдені верховим вогнем. У Луганській області влітку та восени вогонь знищив 29,2 тис. га лісу, з них 13 тис. га – це верхові пожежі. На Харківщині згоріло 570,2 га лісів, у тому числі 163,6 га – верхові.

Щодо Київської області, то за статистичними даними у 2020 році на території Київської області було ліквідовано понад 2,5 тисячі лісових пожеж, які охопили площу понад 74,6 тисячі гектарів. Із цієї площі 19,8 тисяч гектарів були включені до планів рубок, зокрема 1139 гектарів підлягали суцільним санітарним рубкам, а ще 5735 гектарів – вибірковим санітарним.

Загалом, 2020 рік відзначився масштабними лісовими пожежами по всій

Україні, і Київська область не стала винятком. Хоча найзначніші за масштабами пожежі в Україні були зафіксовані у 2010 та 2017 роках, ситуація у 2020 році також виявилася серйозною. Однією з головних причин виникнення загорянь залишається порушення правил пожежної безпеки, зокрема спалювання сухої рослинності та необережне поводження з відкритим вогнем у лісах.

Внаслідок масштабних загорянь у зазначених областях було знищено і пошкоджено сотні житлових і господарських будівель. Трагедія забрала життя 16 людей, ще десятки постраждали, отримавши опіки та інші травми. Загальна сума завданих збитків склала 19,1 млрд гривень. Через великі площі, охоплені верховими пожежами, постає нагальна потреба у проведенні обов'язкової оцінки впливу на довкілля перед початком суцільних санітарних рубок. Це, у свою чергу, потребує додаткового фінансування та часу для реалізації.

2021 рік. Упродовж 2021 року в лісах України було зафіксовано 659 пожеж на загальній площі 289 гектарів, що свідчить про суттєве зменшення як кількості, так і масштабу загорянь порівняно з 2020 роком – у 4 та 258 разів відповідно. Середній розмір однієї пожежі зменшився у 66 разів і становив лише 0,44 га. Збитки від пожеж склали 2,1 млн. грн, що є суттєво менше порівняно з 19,3 млрд грн у 2020 році та 6,7 млн. грн у 2019-му. Основною причиною виникнення пожеж, як і раніше, залишалось необережне поводження з вогнем. У 29% випадків до гасіння були залучені підрозділи ДСНС.

Найбільше загорянь зафіксовано у Херсонському (114 випадків), Харківському (91), Луганському (68), Київському (67) та Дніпропетровському (64) управліннях. За площею пожеж лідирують Дніпропетровське (50 га), Житомирське (42 га), Херсонське (39 га), Луганське (36 га) та Харківське (33 га) управління. У двох випадках (на Волині та Луганщині) низові пожежі перейшли у верхові. Лише одна велика пожежа площею 6 га трапилась у Дніпропетровській області внаслідок військових навчань – тоді як у 2020 році таких випадків було 95 на площі 72,5 тис. га.

Лісгоспи також активно допомагали в гасінні пожеж у суміжних природних екосистемах – полях, торфовищах, луках, сільгоспугіддях та

смітниках. Загалом, їхня відомча пожежна охорона взяла участь у понад 12 тисячах виїздів на площі 8,96 тис. га. Для профілактики загорянь було облаштовано 48 км протипожежних розривів і бар'єрів, прокладено 53,1 тис. км мінералізованих смуг, а догляд проведено на 275,9 тис. км. У лісах і зонах відпочинку встановлено 12,9 тис. інформаційних матеріалів протипожежної тематики. У ЗМІ опубліковано 4,1 тис. статей, проведено понад 1,9 тис. радіо- та 888 телевиступів, а також 24,7 тис. роз'яснювальних заходів (лекцій, бесід). Було перекрито 14,7 тис. несанкціонованих доріг.

У межах контролю за дотриманням пожежної безпеки проведено 26,6 тис. рейдів, складено 233 адмінпротоколи на суму 369 тис. грн. Затверджено план мобілізації сил та засобів для створення зведених загонів пожежогасіння (наказ Держлісагентства від 29.04.2021 № 290). Проведено навчання з ліквідації умовних пожеж із залученням фахівців із різних областей, рятувальників, представників громад і місцевої влади. У рамках тренувань, що проходили у 11 областях, було відпрацьовано гасіння пожеж на площі 400 га, зокрема 100 га верховими. У навчаннях взяли участь понад 580 працівників лісової охорони та 205 одиниць техніки, 81 рятувальник із 37 одиницями техніки ДСНС, а також представники громад із технікою. У Херсонській області задіяно вертоліт Мі-8 з пожежним обладнанням.

У травні–червні 2021 року проведено перехресні перевірки лісгоспів на предмет своєчасного виявлення і ліквідації пожеж та виконання профілактичних заходів, за підсумками яких видано наказ № 428 щодо посилення охорони лісів. Крім того, у серпні 2021 р. лісгоспи взяли участь у командно-штабних навчаннях із відпрацювання дій у разі надзвичайних ситуацій, пов'язаних із лісовими пожежами.

У 2021 році на території Київської області було зареєстровано 660 випадків лісових пожеж, згідно з даними Державної служби статистики України. Цей показник значно нижчий порівняно з наступними роками: у 2022 році зафіксовано 1052 пожежі, а у 2023 – вже 1278.

2022 рік. Станом на кінець серпня 2022 року кількість лісових пожеж зросла у 2,3 рази, а площа загорянь – у 77 разів порівняно з аналогічним періодом

2021 року. Як зазначав голова Держлісагентства, у 2021 році було зафіксовано лише одну велику пожежу площею 6 гектарів, а решту займання вдалося швидко ліквідувати. Натомість у 2022 році таких масштабних пожеж налічувалося вже 123 випадки. Загальні збитки від лісових пожеж у 2022 році сягнули 6,9 млн. грн, тоді як за аналогічний період 2021 року вони становили менше ніж 0,5 млн. грн, а у 2020 році – 6,6 млрд грн.

У 70% випадків пожежі спричинялися бойовими діями: ракетними обстрілами, вибухами мін та інших вибухонебезпечних предметів. Через це значні території лісів, особливо в Київській та Чернігівській областях, були охоплені вогнем – понад 1,2 тис. гектарів. Основною причиною таких пожеж стало мінування: ворог залишив після себе не лише тисячі звичайних мін, але й спеціальні вибухові пристрої, що призводили до загорянь і унеможливлювали оперативне реагування.

Через небезпеку для особового складу рятувальники не могли заходити вглиб замінованих територій і змушені були діяти шляхом локалізації пожежі по периметру, стримуючи її поширення в межах розмінованих ділянок. Роботи зі знешкодження мін та боєприпасів на Київщині тривали.

Решта 30% пожеж була пов'язана з людським фактором: через необережність або свідомі підпали. Особливо постраждало Закарпаття, де через посуху та активне відвідування лісів населенням вигоріли сотні гектарів лісу, тоді як у попередньому році площі займання були значно меншими.

У 2022 році на території Київської області було ліквідовано 125 лісових пожеж, що охопили площу 1139,66 гектарів. Із загальної кількості загорянь 34 пожежі були погашені за участю підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій. Такі дані надані Київським обласним та по м. Києву управлінням лісового та мисливського господарства.

Для попередження пожеж лісогосподарські підприємства у 2022 році облаштували майже 10,6 км протипожежних розривів і бар'єрів, проклали 28,4 тис. км мінералізованих смуг та провели догляд за ними на протяжності понад 104,9 тис. км.

Особливо критичною була ситуація у **2023 році**, коли вогонь охопив 51 тис. гектарів лісових угідь – що у 170 разів перевищує площу загорянь у 2021 році (0,3 тис. га). Збитки, завдані лісовими пожежами у 2023 році, також були надзвичайно значними – 2,05 млрд грн, що у 975 разів більше, ніж у 2021 році, коли втрати становили 2,1 млн. грн.

У 2023 році на території Київської області було зареєстровано 613 випадків пожеж у природних екосистемах, що на 185 більше, ніж у 2022 році, коли таких загорянь було 428. Але найбільшу кількість пожеж зафіксували у 2021 році – 733 випадки.

За інформацією Головного управління ДСНС, у 2023 році в Україні спостерігалось зменшення площі лісових пожеж порівняно з попередніми роками, зокрема з 2022 роком. Водночас, площа лісових пожеж у 2023 році залишалася більшою, ніж у 2021 році.

Основною причиною виникнення пожеж у природних екосистемах, зокрема в лісах, залишався людський фактор – насамперед необережне поводження з вогнем.

Для посилення реагування на загоряння було впроваджено автоматизовану систему «Пожежі», що працює на основі супутникових даних дистанційного зондування Землі та оперативно оновлюється інформацією про осередки пожеж і хід їхнього гасіння.

2024 рік. За даними Державного агентства лісових ресурсів України упродовж 2024 року в лісах України було ліквідовано 1994 пожежі, загальна площа яких склала майже 24,0 тисячі гектарів. Із загальної кількості – 215 випадків класифіковано як великі лісові пожежі, що охопили 22,0 тисячі гектарів, зокрема понад 1,6 тисячі гектарів становили верхові пожежі. У середньому площа однієї пожежі сягала 12 гектарів. Орієнтовні економічні збитки перевищили 13,8 мільярда гривень. Значну підтримку у боротьбі з вогнем надала Державна служба з надзвичайних ситуацій, підрозділи якої взяли участь у гасінні 1117 пожеж, що становить 57% від загальної кількості випадків.

Кліматичні умови 2024 року суттєво вплинули на пожежонебезпечну

ситуацію. Весна була теплішою за середні багаторічні показники. У північних і західних регіонах виникали паводки, тоді як схід та південь країни стикнулися з посухами. У квітні середній коефіцієнт пожежної небезпеки (КПН) перевищив 3 клас, а в Харківській, Запорізькій та Донецькій областях – 4 клас. У травні ситуація ускладнилася: КПН у Полтавській, Дніпропетровській, Херсонській та Донецькій областях наблизився до 5 класу, що призвело до зростання кількості пожеж (табл. 3.4).

Літній період розпочався з відносно м'яких температур без аномальної спеки, проте з дефіцитом опадів. У червні КПН у більшості регіонів досяг 3 класу, а в Запорізькій і Херсонській областях – 4 класу. Незважаючи на зменшення кількості пожеж, їхня площа значно зросла й перевищила 6,4 тисячі гектарів. У липні через зростання температур повітря рівень пожежної небезпеки сягнув 4–5 класу, що спричинило збільшення кількості займань, хоча їхня середня площа зменшилася. У серпні найбільш критична ситуація спостерігалася у Сумській, Полтавській, Запорізькій, Дніпропетровській та Миколаївській областях, де КПН досяг максимального – 5 класу. Вересень виявився аномально сухим і теплим, що призвело до зростання кількості пожеж у тричі, а площ – у 11 разів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Кількість лісових пожеж по місяцях за 2024 рік

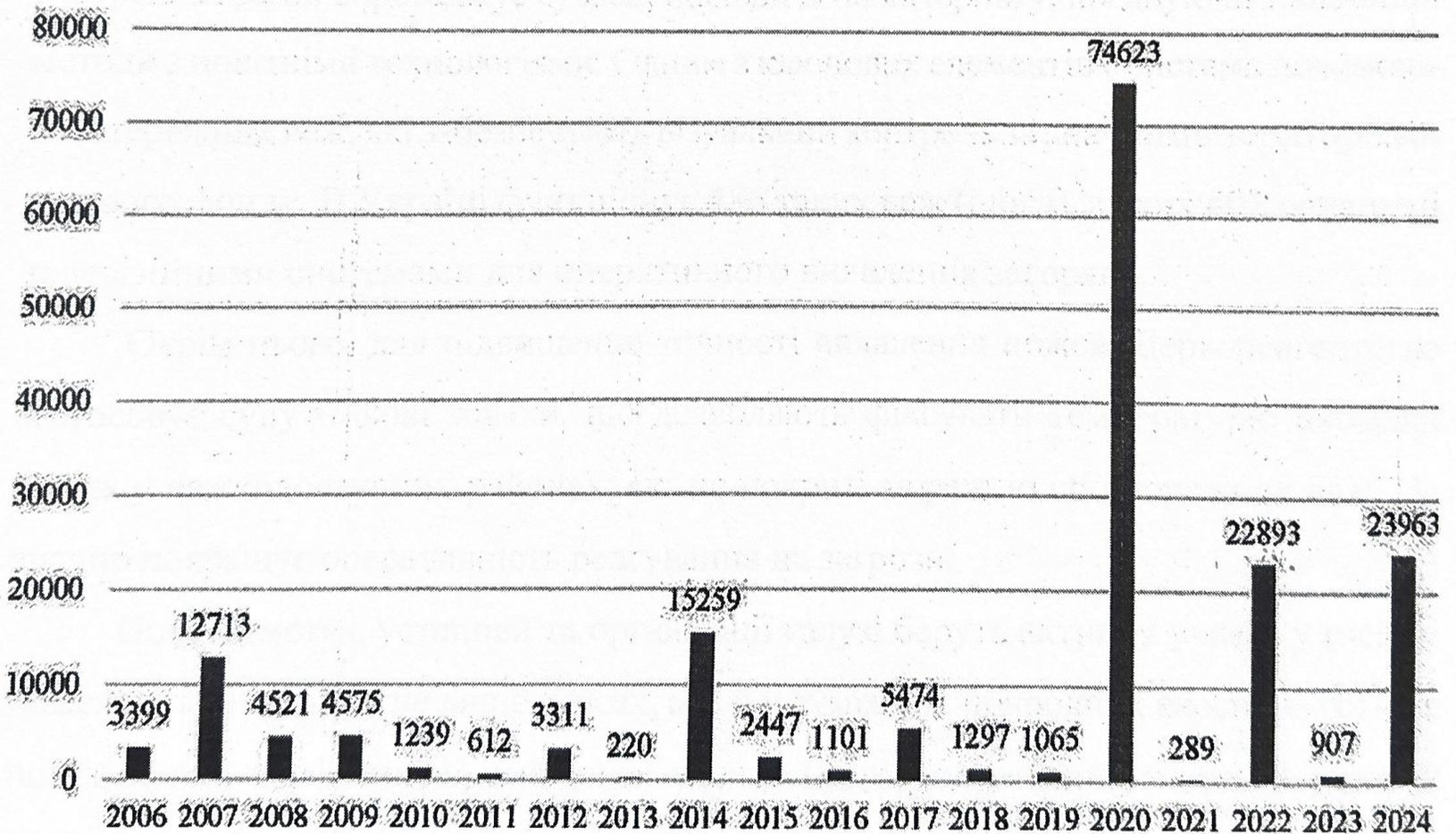
[Джерело: Публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2024-рік]

№ п/п	місяць	Середній КПН по Україні, клас	Кількість	Площа, га	
				всього	у тому числі верхової
1	Лютий	0	1	0,1	0
2	Березень	0	7	6,81	0
3	Квітень	3 (3,2)	144	421,49	0,2
4	Травень	4 (4,3)	257	4759,98	5,0
5	Червень	3 (3,1)	88	6469,21	52,0
6	Липень	4 (4,1)	225	704,37	28,3
7	Серпень	4 (4,3)	285	867,2	30,4
8	Вересень	4 (4,4)	823	9812,66	1499,27
9	Жовтень	3	137	889,16	22,8
10	Листопад	1 (0,5)	27	32,14	0,3
Всього:			1994	23963,14	1638,27

Кількість великих лісових пожеж по областях за 2024 рік

[Джерело: Публічний звіт голови державного агентства лісових ресурсів України за 2024 рік]

№ п/п	Область	Кількість великих лісових пожеж	Площа, га	Площа, га в тому числі верхової
1	Харківська	117	13 292,1	148,9
2	Донецька	52	4 288,02	1,9
3	Полтавська	12	2 968,6	1 335,3
4	Херсонська	10	320,2	18,8
5	Чернігівська	6	64,5	0
6	Кіровоградська	5	210,1	45,4
7	Київська	4	240,9	0
8	Сумська	4	48,62	0
9	Дніпропетровська	3	140,6	11,4
10	Миколаївська	2	67,8	17,8
11	Житомирська	1	344,3	0
12	Волинська	1	25	0
13	Рівненська	1	5	0
Всього:		218	22 015,74	1 579,5



*після розмінування звільнених від окупантів територій і обстеження лісових насаджень були виявлені лісові пожежі, які відбулись у 2023 р. (Статистичні дані Держлісагенства за 2024 р.).

Рис. 3.1. Динаміка площі лісових пожеж у період з 2006 по 2024 рр., га

У Луганській області лісові пожежі завдали збитків на понад 4–5 млрд грн, охопивши площу майже 8 тис. га лісу. Щодо Київської області, то кількість великих лісових пожеж у 2024 р. було зафіксовано 4, загальною площею 240,9 га.

Оцінити повні масштаби збитків від усіх лісових пожеж у 2024 році наразі неможливо, оскільки інструментальна зйомка ділянок, що зазнали дії вогню, обмежена через активні бойові дії, тимчасову окупацію та замінування частини територій. Остаточна оцінка збитків і площі буде уточнена лише після завершення воєнних дій та повного розмінування.

Основною причиною виникнення лісових пожеж у 2024 році залишається військова агресія з боку російської федерації, на яку припадає 45% усіх загорань. Ще 35% випадків стали наслідком порушень правил пожежної безпеки громадянами, самовільного випалювання сухої рослинності та недотримання вимог під час проведення господарських робіт. Решта 20% пожеж були спричинені іншими факторами.

З метою ефективного реагування на лісові пожежі Державне агентство лісових ресурсів України впроваджує сучасні підходи до моніторингу, поєднуючи традиційні методи з новітніми технологіями. Одним з ключових елементів є система пожежно-спостережних веж, які забезпечують візуальний контроль за значними територіями лісового фонду. В Україні функціонує 486 таких веж (щогл), з яких 402 оснащені телевізійними системами для оперативного виявлення загорянь.

Окрім цього, для підвищення точності виявлення пожеж Держлісагентство застосовує супутникові знімки, що дозволяють фіксувати температурні аномалії навіть у важкодоступних районах, які не покриті мережею спостережних веж. Це значно покращує оперативність реагування на загрози.

Підприємства, установи та організації галузі беруть активну участь у гасінні пожеж, які виникають не лише в лісах, але й у суміжних природних екосистемах – на полях, луках, торфовищах, смітниках та сільськогосподарських угіддях. Загалом у 2024 р. ними було ліквідовано близько 4,8 тис. таких пожеж на площі понад 2,7 тис. га.

Для профілактики лісових пожеж у лісових господарствах облаштовано 39,7 тис. км мінералізованих смуг, за якими догляд здійснювався на протязі

177,3 тис. км. Проведено активну просвітницьку кампанію: встановлено понад 8 тисяч інформаційних щитів, організовано понад 1120 виступів у засобах масової інформації, опубліковано 613 статей, прочитано майже 8500 лекцій і бесід для населення.

З метою забезпечення дотримання пожежної безпеки, державною лісовою охороною організовано близько 11 тисяч рейдів. У результаті перевірок було складено понад 500 адміністративних протоколів, загальна сума штрафів склала 830 тисяч гривень.

У зв'язку з масштабними пожежами в природних екосистемах та постійними ворожими обстрілами лісових територій, Держлісагентство видало наказ № 272 від 9 вересня 2024 року щодо додаткового залучення технічних засобів і персоналу до Полтавської та Дніпропетровської областей. У межах цього рішення спрямовано по 5 одиниць спеціалізованої техніки в кожен з областей для посилення можливостей з локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій у лісових масивах.

Покращення ситуації розпочалося лише в жовтні, коли через зниження КПН до 3 класу кількість пожеж зменшилася в 6 разів, а їхня площа – в 11 разів. У листопаді пожежонебезпека істотно знизилась. Аналіз зафіксованих випадків засвідчив, що найбільша інтенсивність лісових пожеж спостерігалась у травні, серпні та вересні. Погодні умови 2024 року – а саме підвищена температура, посушливість та вітряність – значною мірою сприяли поширенню пожеж. Водночас варто відзначити, що більшість великих лісових пожеж були спричинені саме воєнною агресією російської федерації, що суттєво ускладнило контроль за лісопожежною ситуацією в країні.

2025 рік. З початку року в Україні зафіксовано 714 лісових пожеж на площі 333 га, що майже в три рази більше порівняно з аналогічними періодами попередніх років. При цьому можна зазначити роль геоінформаційних систем та супутникових технологій як невід'ємну частину стратегії боротьби з лісовими пожежами в Україні. Вони дозволяють:

- оперативне виявлення осередків загорянь;
- прогнозування поширення вогню з урахуванням метеорологічних умов;

- координацію дій рятувальних служб;
- оцінку екологічних та економічних збитків.

Зокрема, автоматизована система «Пожежі», розроблена Державним агентством лісових ресурсів України з використання ГІС систем, забезпечує реєстрацію та моніторинг лісових пожеж, використовуючи дані супутникового спостереження та метеорологічні моделі.

Окрім моніторингу та прогнозування, ГІС є важливим інструментом для координації дій між різними службами. У разі надзвичайної ситуації в єдиному ГІС-середовищі можуть працювати рятувальники, лісівники, представники місцевого самоврядування та медичні служби. Вони отримують синхронізовані дані про стан території, шляхи евакуації, наявність джерел водопостачання, доступність доріг тощо. Це значно підвищує ефективність роботи у складних умовах і сприяє збереженню життя людей.

Ще однією перевагою ГІС є можливість зберігати історичні дані про пожежі. Це дозволяє проводити аналіз повторюваності займання, виявляти закономірності та формувати довгострокові карти ризику. Така інформація корисна для планування профілактичних заходів, зонування лісів, розміщення пожежних станцій і розробки стратегій сталого лісокористування.

У поєднанні з мобільними додатками, ГІС-технології можуть бути доступні навіть для широкого кола користувачів – туристів, фермерів, місцевих жителів. Наприклад, завдяки сповіщенням у реальному часі люди можуть отримувати інформацію про наближення вогню, ризик перебування у певних локаціях, а також рекомендації щодо евакуації.

Окрім супутників, використовуються також безпілотники (дрони), які можуть передавати відео з місця подій, визначати напрямок руху вогню та допомагати в координації рятувальних дій. Усе це значно підвищує оперативність рішень і дозволяє запобігати розповсюдженню вогню.

Отже, ГІС є невід'ємною складовою сучасної системи моніторингу лісових пожеж. Її застосування дозволяє поєднати високоточні дані з гнучкими аналітичними можливостями, що забезпечує своєчасне реагування, ефективну

координацію та стратегічне планування. У майбутньому розвиток ГІС-технологій та їх інтеграція з штучним інтелектом, безпілотними апаратами та хмарними сервісами зробить боротьбу з лісовими пожежами ще більш результативною та керованою.

3.2. Картографування осередків пожеж у Київській області та оптимізація ресурсів для гасіння пожеж

Картографування осередків лісових пожеж є ключовим етапом у системі просторового аналізу та моніторингу екологічних загроз. Завдяки сучасним геоінформаційним технологіям з'явилась можливість виявляти, локалізувати та аналізувати поширення пожеж у лісових масивах з високою точністю. У дослідженні було здійснено просторове картографування лісових пожеж у Київській області за період 2020–2024 років.

Джерелами інформації для картографування виступали:

- супутникові знімки середньої та високої роздільної здатності (Sentinel-2, Landsat 8/9);
- дані сервісу FIRMS (Fire Information for Resource Management System) від NASA, який дозволяє відстежувати активні осередки загорянь у реальному часі [36];
- офіційні звіти Державного агентства лісових ресурсів України [11];
- відкриті джерела ДСНС України щодо оперативної інформації про пожежі [12].

Для виявлення зон загорянь було застосовано індекс NBR (Normalized Burn Ratio), який дає змогу точно визначити ступінь пошкодження рослинного покриву внаслідок пожежі. Розрахунок індексу здійснювався в середовищі QGIS із використанням модулів Semi-Automatic Classification Plugin та Raster Calculator. При цьому було враховано зони з $NBR \leq -0,1$, які вважаються зонами сильного вигорання [39]. На основі оброблених супутникових даних було виявлено понад 80 активних осередків лісових пожеж у межах Київської області за 2022–2023 роки. Основні зони ураження були зафіксовані у Вишгородському;

Іванківському, Броварському та Обухівському районах, переважно внаслідок військових дій або порушення правил пожежної безпеки. В межах дослідження створено тематичні карти, що ілюструють просторовий розподіл та інтенсивність пожеж за рік, з поділом на низові та верхові.

Виявлено, що найбільше навантаження припадає на лісові масиви поблизу територій, які були заміновані або перебували під обстрілами, зокрема поблизу м. Іванків, с. Катюжанка, а також у лісових урочищах на північ від м. Бровари. Це корелює з результатами звітів Держлісагентства, де зазначено, що у 2022 р. в Київській області було зафіксовано 125 лісових пожеж на площі понад 1139 га [11].

Окрему увагу було приділено верифікації отриманих результатів шляхом зіставлення супутникових вогнищ з офіційною статистикою. Це дозволило зменшити похибку в локалізації загорянь і виключити хибнопозитивні виявлення (наприклад, спалення стерні або контрольоване випалювання).

Картографічні матеріали, створені в рамках цього дослідження, можуть бути інтегровані до систем управління лісами для оперативного реагування, а також використовуватись у майбутніх дослідженнях змін лісового покриву.

Тому, у боротьбі з лісовими пожежами важливу роль відіграє не лише швидкість реагування, а й ефективність розподілу ресурсів: техніки, особового складу, водопостачання, пального та медичної допомоги. У надзвичайних умовах, коли кожна хвилина може коштувати життя або знищення тисяч гектарів лісу, оптимізація ресурсів є критично важливою. Сучасні геоінформаційні системи забезпечують інструменти для точного, обґрунтованого та оперативного управління цими ресурсами [14].

ГІС дозволяє поєднувати дані з різних джерел – супутникових знімків, метеостанцій, цифрових моделей рельєфу, лісового кадастру, інфраструктурних об'єктів тощо – для формування динамічної картини ситуації на місцевості. Це дає змогу точно визначати місце займання, оцінювати масштаб пожежі, тип горючої рослинності, близькість до населених пунктів і доступні маршрути. Такий рівень деталізації дозволяє раціонально планувати розгортання сил, уникаючи зайвих витрат або небезпечних дій [10].

Однією з головних переваг ГІС є можливість створення моделей поширення вогню, які враховують вітрові умови, напрямки схилів, рівень вологості та тип пального матеріалу. Завдяки цьому рятувальні служби можуть заздалегідь передбачити, куди може поширитися вогонь, і перенаправити ресурси туди, де вони будуть найбільш ефективними. Наприклад, можна завчасно розмістити водозабірні пункти або забезпечити транспортні маршрути, які залишаться безпечними.

Крім того, ГІС-технології дозволяють моделювати логістику доставки ресурсів. За допомогою цифрових карт і просторового аналізу можна знайти найкоротші та найменш ризиковані маршрути для підвозу води, пального або медикаментів. Це особливо важливо у важкодоступних або гірських районах, де кожна затримка може призвести до непоправних наслідків. ГІС також дозволяє в режимі реального часу контролювати пересування техніки та бригад, що підвищує загальну керованість операцією.

Оптимізація ресурсів за допомогою ГІС охоплює й аналіз доступності інфраструктури: пожежних гідрантів, резервуарів води, лісових доріг, вертолітних майданчиків тощо. Наприклад, система може автоматично визначити, яка пожежна станція знаходиться найближче до осередку вогню, чи вистачить у неї техніки, і скільки часу потрібно на прибуття. Це сприяє швидкому прийняттю рішень і зменшує час реагування на надзвичайну ситуацію [18].

Не менш важливою є роль ГІС у післяопераційному аналізі. Після завершення гасіння пожежі дані, зібрані під час роботи, аналізуються для оцінки ефективності розподілу ресурсів, виявлення слабких місць у логістиці чи координації. Це дозволяє покращити майбутні стратегії реагування, зменшуючи витрати та підвищуючи ефективність дій.

Завдяки точним картографічним даним, ГІС дозволяє ефективно розподіляти ресурси для боротьби з пожежами. Це включає:

- вибір оптимальних маршрутів для техніки й особового складу;
- розміщення водозабірних точок та мобільних команд;
- аналіз ландшафту для передбачення руху пожежі [19].

Наприклад, знаючи рельєф місцевості та напрямок вітру, можна визначити, де вогонь поширюватиметься найшвидше, і відповідно – розставити сили для стримування вогню на найбільш вразливих ділянках.

Ще один аспект – мобільність та доступність. Сучасні ГІС-рішення можуть працювати на планшетах, смартфонах і навіть у режимі офлайн. Це дає змогу оперативно передавати інформацію з місця подій до центру управління, що значно підвищує гнучкість і швидкість комунікації. Завдяки таким технологіям навіть у найгарячіших точках лісових пожеж працівники мають доступ до актуальної карти, інформації про ресурси та алгоритмів дій.

Також ГІС допомагає зберігати історичні дані про пожежі, що дозволяє робити висновки про повторюваність інцидентів у певних районах і планувати заходи з попередження на основі минулого досвіду.

Статистика лісових пожеж у Київській області у період 2020–2025 років свідчить, що (табл. 3.5)

Таблиця 3.5

Зведені відомості статистичних даних про лісові пожежі в межах Київської області

Рік	Кількість пожеж	Площа, га	Збитки, млн. грн.	Примітки
2020	≈ 300	≈ 60	-	Близько 95 % — через людський фактор
2021	660	300 га (0,3 тис)	2,1 млн	Дані Держстату—малий масштаб, основний чинник — людський
2022	428 ¹	15 800 га	302,4 млн	Пожежі зросли у 2,3 рази, площа – у 77 разів
2023	613 (екосистеми) / 1278 (лісові)	51 000 га (лісові)	2 050 млн	Лідирували в області за кількістю і площею
2024	432 (до 31.05.25)	—	—	Лісові пожежі: повністю ліквідовані, доступ через АС "Пожежі"
2025 ²	—	333 га (екос.)	—	У екосистемах на поч. 2025 року у 7 разів більше площі, ніж у 2024

¹– Кількість і площа можуть включати пожежі в екосистемах, не тільки лісові.

²– Дані за початок 2025 року (зима–весняний сезон).

За зведеними даними табл. 3.5 можна зробити наступні висновки:

* 2020: щороку фіксувалося близько 300 пожеж на ~ 60 га, переважно через людський фактор (джерело: «3 року в рік, лісові пожежі завдають непоправного збитку природі, народному господарству та всьому людству – Київське обласне та по м. Києву управління лісового та мисливського господарства» [kyivlis.gov.ua]).

* 2021: значне збільшення кількості випадків — 660 пожеж (0,3 тис. га, збитки 2,1 млн. грн) (Джерело: «Лісові пожежі та збитки через них: дані за 2015-2023 роки» [skilky-skilky.info]).

* 2022: збільшення майже у 2,3 та 77 разів щодо 2021 року; площа 15,8 тис. га; причини — бойові дії (джерело: «Лісові пожежі та збитки через них: дані за 2015-2023 роки» [se.forest.gov.ua]).

* 2023: із 1278 пожежами в лісах (51 тис. га, збитки 2,05 млрд грн), у Київській обл. — 613 пожеж в екосистемах (джерело: «Щорічні звіти про стан лісових пожеж» [forest.gov.ua/]).

* 2024: до травня по області ліквідовано 432 лісові пожежі, всі локалізовані (джерело: «Головна / Пожежі» [fire.ukrforest.com]).

* 2025: кількість пожеж в екосистемах на початку року зросла у 7 разів — площа ~ 333 га (джерело: «Кількість пожеж в екосистемах України зросла втричі від початку року – ДСНС / УНН» [unn.ua]).

Після стабільної ситуації на 2020–2021 роки, 2022–2023 роки відзначилися катастрофічним зростанням пожеж через війну: площа у 2022 зросла в 77 разів, у 2023 – 170 разів від рівня 2021 року. 2024 рік свідчить про ефективне реагування — всі пожежі були локалізовані. А у 2025 рік почався з різкого збільшення пожеж у екосистемах ($\sim 7 \times$), що потребує постійного моніторингу за допомогою ГІС та дистанційного зондування.

Ці дані ілюструють критичну важливість геоінформаційних інструментів у моніторингу пожеж (особливо у військовий час), і можуть бути використані для:

1. настроювання шаблонів карт оцінки ризику пожеж;
2. розробки часових ліній (таймлайнів) активності пожеж;
3. оцінювання впливу воєнних дій на природоохоронні процеси.

Таким чином, впровадження ГІС у систему реагування на лісові пожежі забезпечує цілеспрямоване та ефективне використання обмежених ресурсів. Це не тільки знижує фінансові витрати та втрати майна, але й рятує життя людей, тварин і допомагає зберегти цінні природні екосистеми. У майбутньому, з розвитком штучного інтелекту, автоматизованих дронів та машинного навчання, потенціал ГІС для оптимізації гасіння пожеж стане ще ширшим та потужнішим.

3.3. Приклади впровадження ГІС-технологій в Україні та світі

Сучасна боротьба з лісовими пожежами вимагає застосування високотехнологічних інструментів, здатних забезпечити швидкий доступ до актуальної інформації, точне прогнозування та ефективну координацію дій. У цьому контексті геоінформаційні системи стають ключовим компонентом моніторингу й управління пожежними ризиками як в Україні, так і в багатьох країнах світу. Використання ГІС дозволяє не лише оперативно виявляти осередки займання, а й керувати ресурсами, аналізувати наслідки та формувати довгострокову політику протидії природним катастрофам.

В Україні поступово зростає зацікавленість у застосуванні ГІС для моніторингу лісових пожеж, особливо в межах реформування лісового господарства та системи ДСНС. Одним із прикладів є інтеграція супутникових даних і цифрових карт у Національну екологічну мережу та використання геопорталів, які дозволяють виявляти потенційно небезпечні території. Також проводяться експериментальні проекти із застосуванням дронів і тепловізійних камер у Карпатському та Поліському регіонах, що дозволяє в режимі реального часу отримувати просторову інформацію про ситуацію в лісі (рис. 3.1).

У 2025 році спостерігається помітне зростання масштабів лісових пожеж у світі – їх кількість зросла на 13% порівняно з попереднім роком. За інформацією порталу Global Forest Watch, ситуація в Амазонії є особливо тривожною: кількість зафіксованих загорянь у тропічних лісах регіону перевищила середній рівень за останні 10 років на 52%, а порівняно з показниками за останні 3 роки – на 24%.



Рис. 3.1. Лісові пожежі [Джерело: <https://www.ukrinform.ua/rubric-world/3088917-kilkist-lisovih-pozez-u-sviti-za-rik-zbilsilasa-na-13.html>]

В Україні вже реалізовано кілька проєктів, у яких активно застосовуються ГІС-технології для управління лісовими пожежами. Наприклад:

- державне агентство лісових ресурсів використовує Єдину систему електронного обліку деревини, яка включає просторові компоненти;
- впроваджено пілотні проєкти з моніторингу пожеж у Чорнобильській зоні з використанням супутникових даних Sentinel;
- в окремих регіонах реалізовано інтеграцію дронів для раннього виявлення загорянь.

На міжнародному рівні ГІС активно застосовується у США, Канаді, Австралії, де щороку фіксується велика кількість масштабних пожеж. У цих країнах створені національні ГІС-платформи, які об'єднують дані з різних джерел і дозволяють у реальному часі координувати дії різних служб.

У 2020–2021 роках, коли масштабні лісові пожежі охопили Житомирську та Луганську області, українські рятувальні служби використовували відкриті дані з систем NASA FIRMS, інтегровані в ГІС-платформи. Це дозволило виявити

нові осередки займання, побудувати карти поширення вогню та оцінити шкоду. Хоча ці рішення ще не є повністю автоматизованими, їх використання демонструє потенціал технологій у підвищенні ефективності реагування.

У міжнародній практиці приклади використання ГІС у боротьбі з пожежами набагато масштабніші. США, зокрема Служба лісового господарства (US Forest Service), вже багато років успішно застосовує систему WFIGS (Wildland Fire Interagency Geospatial Services). Вона поєднує супутникові знімки, прогнози погоди, карти рослинності та рельєфу для моделювання пожеж, керування технікою та координації дій кількох служб одночасно. Особливістю цієї системи є інтеграція із застосунками для мобільних пристроїв, які використовують як пожежники, так і місцеві жителі.

В Австралії, де лісові пожежі є щорічним лихом, уряд застосовує ГІС-платформу AFDRS (Australian Fire Danger Rating System), що дозволяє точно оцінювати ризик займання та поширення вогню по всій території країни. Система враховує понад 60 показників, включно з вологістю ґрунту, щільністю рослинності та поточною температурою, і автоматично оновлює карту пожежної небезпеки на основі аналізу супутникових знімків та метеоданих. Результати цього аналізу публікуються онлайн і доступні як для рятувальників, так і для громадян.

Ще один яскравий приклад – Канада, де діє система Canadian Wildland Fire Information System (CWFIS). Вона включає в себе програми оцінки пального навантаження, візуалізацію активних пожеж у реальному часі та прогнозування поведінки вогню. Ця система використовує штучний інтелект для вдосконалення моделей поширення та автоматично коригує маршрути евакуації, що надзвичайно важливо в розріджених, важкодоступних регіонах країни.

Європейський Союз також інвестує у розвиток ГІС-технологій через програму Copernicus Emergency Management Service, яка надає супутникові карти та аналітику під час природних катастроф, зокрема лісових пожеж. Ці дані використовуються національними рятувальними службами в Іспанії, Італії, Греції, Португалії та інших країнах. Наприклад, у Греції під час катастрофічних

пожеж 2021 року система Copernicus дозволила створити детальні карти руйнувань за кілька годин, що значно прискорило реагування та відновлення.

Одним із вагомих напрямів природоохоронної діяльності в північних країнах Європи є застосування вогню як інструменту управління лісовими екосистемами. Дослідження, проведені в рамках проєкту ЄС Life2Taiga, доводять доцільність використання контрольованих палів не лише для регулювання обсягів рослинних горючих матеріалів, а й з метою підтримання біорізноманіття.

У лісах Західної Тайги, що охоплюють території Швеції та Фінляндії, виявлено низку пірофітних видів, існування яких значною мірою залежить від періодичного виникнення пожеж. Природні пожежі, зумовлені екологічними факторами, формують специфічні оселища, які слугують середовищем існування як для пірофітної фауни і флори, так і для видів, що опосередковано залежать від пірогенних процесів (рис. 3.2).

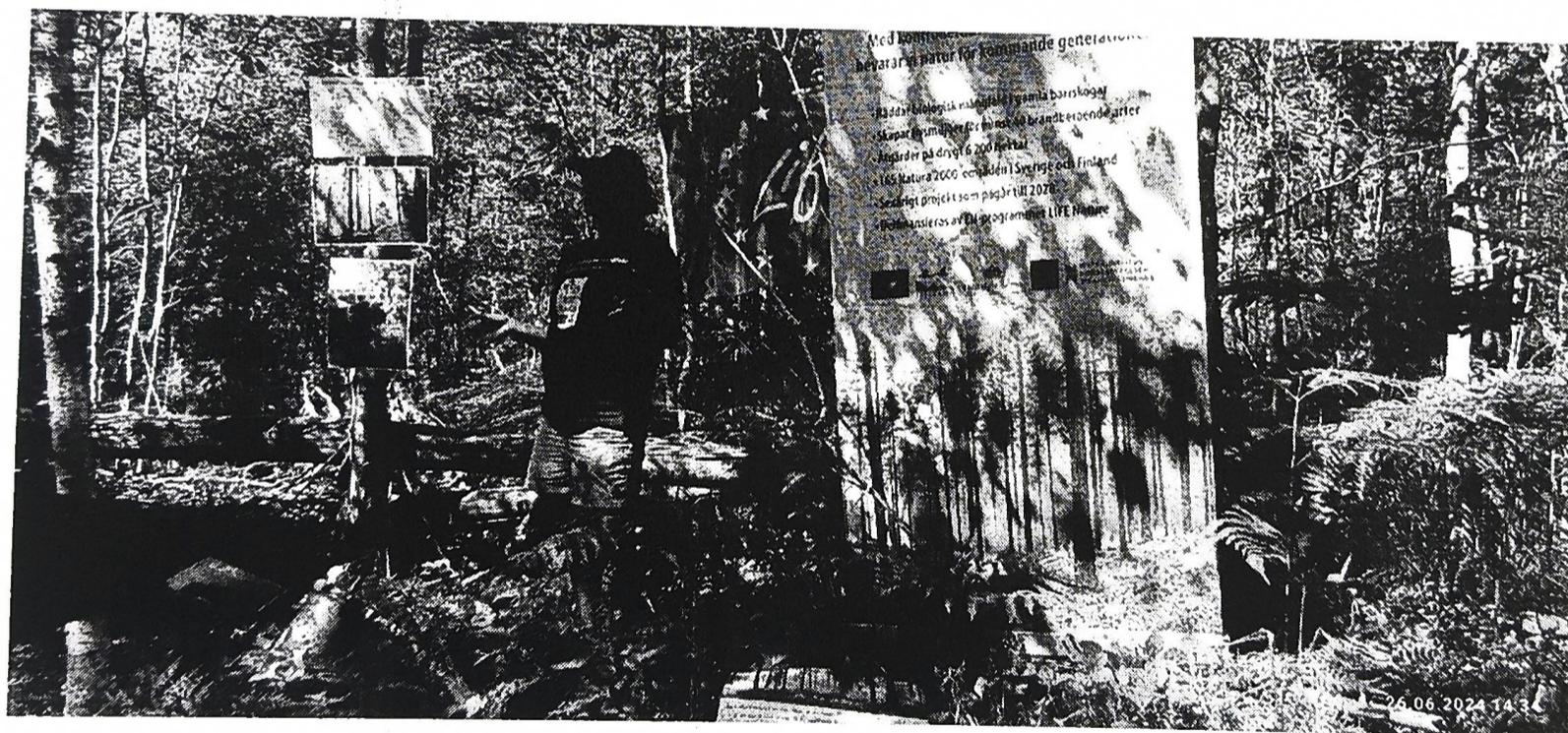


Рис. 3.2. Національний парк Тіреста на південь від Стокгольма, де стиглий сосновий ліс був частково знищений пожежею у 1999 році

[Джерело: <https://uriffm.org.ua/uk/news/618>]

Важливою умовою успішної реалізації заходів є дотримання балансу між екологічними вигодами та потенційними ризиками. Контрольовані пали

здійснюються з урахуванням інтенсивності вогню: зазвичай моделюються низько- або середньоінтенсивні пожежі, подібні до природних. На окремих ділянках допускається високий рівень інтенсивності горіння, якщо це виправдано очікуваним позитивним впливом на стан екосистеми, зокрема шляхом усунення небажаних деревних порід.

Протягом реалізації проекту Life2Taiga передбачено проведення 215 контрольованих палів на загальній площі близько 3400 га. Роботи охоплюють 165 об'єктів мережі Natura 2000 у Швеції та Фінляндії. Очікується, що зазначені заходи сприятимуть збереженню щонайменше 40 пірофітних видів, а також створенню умов для життя багатьох інших організмів, що потребують наявності мертвої деревини (включно з штурпаками, сухостійними і поваленими деревами) для свого існування та розмноження.

Україна має значний потенціал для розвитку таких систем, особливо з урахуванням зростаючих кліматичних загроз. Масштабне впровадження ГІС у лісове господарство дозволить зробити систему реагування на пожежі більш структурованою, швидкою та ефективною.

Таким чином, досвід різних країн свідчить про надзвичайну ефективність впровадження ГІС у сфері управління пожежами. Україна, хоч і знаходиться на початкових етапах цього процесу, має всі передумови для розширення використання геоінформаційних технологій. Це вимагає подальших інвестицій у цифрову інфраструктуру, навчання фахівців та законодавчої підтримки. У майбутньому, об'єднання національного досвіду з міжнародними практиками може забезпечити створення комплексної, сучасної системи реагування на лісові пожежі, заснованої на ГІС.

3.4 Застосування ГІС-технологій та дистанційного зондування в задачах моніторингу лісових пожеж на Київщині

Сьогодні на навколоземних орбітах функціонує понад 100 космічних апаратів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Отримувана з них інформація широко використовується для моніторингу небезпечних природних і

техногенних процесів. Космічні знімки допомагають виявляти осередки надзвичайних ситуацій, визначати їх масштаби, оцінювати наслідки, а також планувати дії з мінімізації ризиків, запобігання або ліквідації наслідків. Особливо важливою є швидкість реагування: чим раніше зафіксовано займання, тим оперативніше вдається його локалізувати або загасити.

Один із найбільш ефективних підходів до моніторингу пожеж – це аналіз супутникових знімків у різних спектральних діапазонах. Для цього зазвичай використовуються зображення у звичайному кольоровому діапазоні (RGB) та в інфрачервоному спектрі. Знімки у видимому спектрі дозволяють визначити рівень задимленості, оцінити напрямок поширення диму та вплив вітру. У свою чергу, інфрачервоні зображення чітко виділяють ділянки з підвищеною температурою, що дозволяє оперативно виявити осередки займання. Поєднання цих даних дає змогу сформувати комплексну картину розвитку пожежі, оцінити її силу, масштаби та потенційні зони подальшого розповсюдження. Для обробки й аналізу знімків застосовуються спеціалізовані програмні засоби, зокрема геоінформаційні системи та програма ENVI, яка використовувалась у даному дослідженні.

Лісові пожежі мають серйозні екологічні наслідки. В результаті горіння у повітря потрапляють частинки диму, отруйні газові сполуки, зростає забруднення атмосфери, знижується природний кругообіг кисню, порушуються захисні функції лісових насаджень, активізуються ерозійні процеси та відбувається руйнування біогеоценозу. Особливо небезпечними є пожежі на територіях, забруднених радіацією. В Україні такою територією є Чорнобильська зона відчуження.

Статистичне спостереження за пожежами в зоні відчуження ведеться з 1993 року, коли було створено спеціалізоване лісогосподарське підприємство «Чорнобильліс». Ініціатива його створення виникла після великої лісової пожежі 1992 року, яка продемонструвала необхідність особливого підходу до управління екосистемами цієї зони. З того часу спостерігається тенденція до зростання кількості пожеж саме в лісових масивах. Якщо до 1999 року частка лісових

пожеж не перевищувала 20%, то після 2015 року вона перевищила 50% за площею та 40% за кількістю випадків, що свідчить про зростання ризиків для екологічної безпеки.

Пожежі охоплюють різні частини зони відчуження, проте найчастіше їх фіксують поблизу населених пунктів, уздовж доріг та в південній частині зони, де перебуває персонал і відвідувачі. Одним із наймасштабніших випадків стала пожежа, що виникла 26 квітня 2015 року на південно-західній межі 10-кілометрової зони навколо ЧАЕС. Вона охопила територію з високим рівнем радіоактивного забруднення та протягом кількох днів поширилася з перелогів на лісові масиви. Цю подію назвали найбільшою лісовою пожежею в Чорнобильській зоні за останні 23 роки.

Для вивчення наслідків цієї пожежі було використано супутникові знімки Landsat 8 за 29 квітня 2015 року (у розпал пожежі) та за 24 квітня 2019 року (через чотири роки після події). Вибір дат зйомки був обумовлений наявністю повного рослинного покриву, який перебував на піку вегетації, а також відсутністю хмар, що дозволяло отримати найбільш точну інформацію про стан території. Аналіз цих знімків надав змогу детально оцінити зміну екосистеми, ступінь відновлення рослинності та потенційні ризики для навколишнього середовища.

Для оцінки масштабів лісових пожеж у Чорнобильській зоні було використано супутникові знімки, завантажені з офіційного ресурсу earthexplorer.usgs.gov. Обробку отриманих даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) проводили за допомогою програмного комплексу ENVI 5.1. На першому етапі виконувалась попередня обробка знімків, що включала підготовку даних до подальшого тематичного аналізу. Зокрема, здійснювалась фрагментація знімків відповідно до меж досліджуваної території, а також конвертація значень яскравості пікселів у радіометричні показники – тобто у значення випромінювання, зафіксованого сенсором супутника (рис. 3.3).

Супутникові спектральні дані часто зазнають впливу зовнішніх факторів – атмосферного поглинання та розсіювання світла, особливостей освітлення об'єкта, а також змін у калібруванні сенсорів, які з часом можуть впливати на

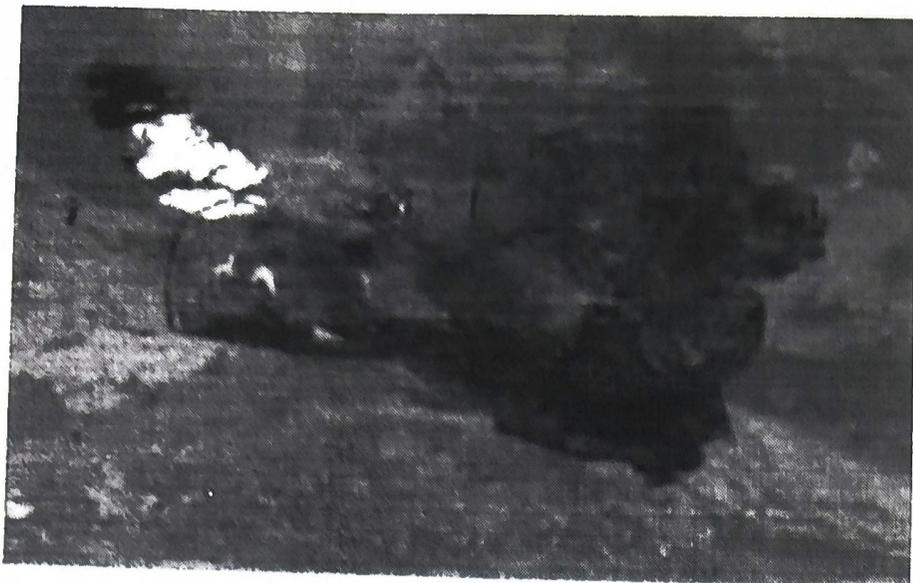


Рис. 3.3. Контур рослинної пожежі площею 10 800 га у Чорнобильській зоні відчуження за космічним знімком Landsat 8, 29 квітня 2015 р. [Джерело: <https://miljournals.knu.ua/index.php/visnuk/article/view/693>]

типів рослинного покриву (зокрема, трав'янистої рослинності та заболочених ділянок) була проведена класифікація земної поверхні за допомогою методу Maximum Likelihood. Аналіз здійснювався за знімками двох періодів – 2015 року (після великої пожежі) та 2019 року (через чотири роки після події). Метод Maximum Likelihood ґрунтується на ймовірнісному підході, за якого для кожного пікселя обчислюється ймовірність належності до певного класу, і той клас, що має найвищу ймовірність, призначається пікселю.

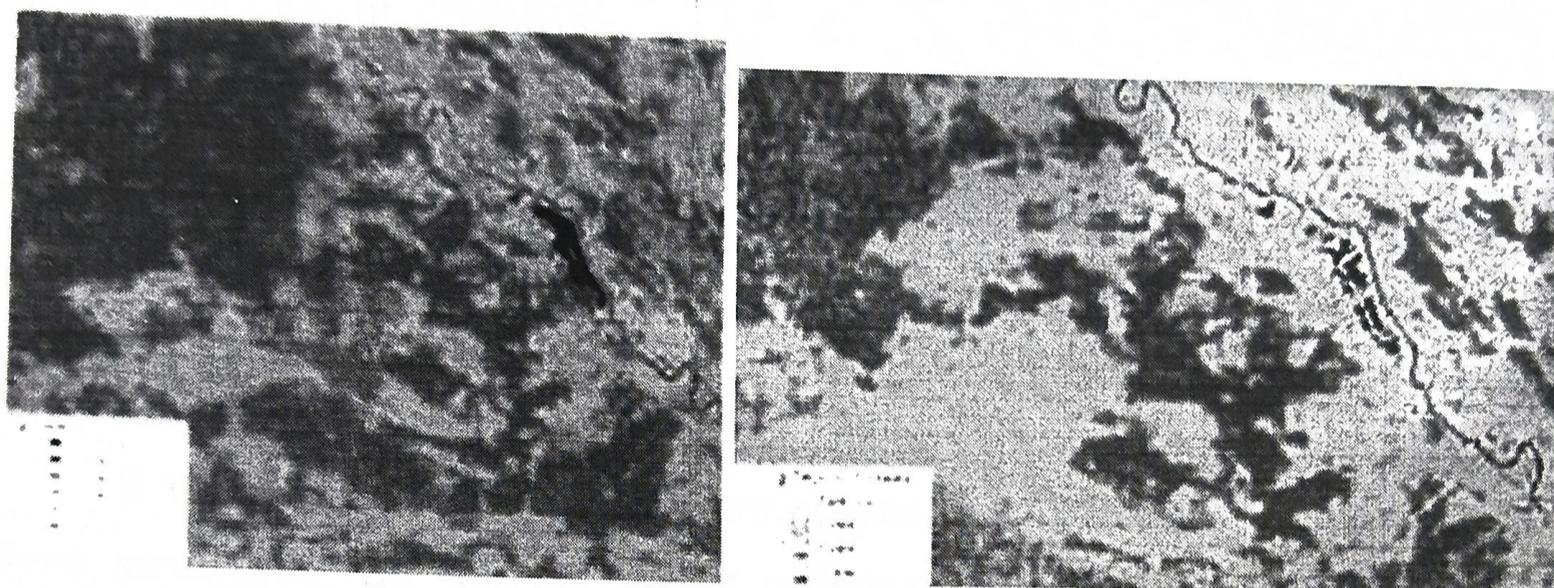
За підсумками класифікації було виділено п'ять основних класів для 2015 року: вода (Water), ліси (Forest), відкритий ґрунт (Bare Soil), згарище (Burned Area) та інші. Для 2019 року – чотири класи, оскільки частина ділянок змінила свій характер покриву внаслідок відновлення або подальшої деградації. Для більш детального аналізу лісового покриву було створено окремий векторний шар (class) для лісів за допомогою функції Raster to Vector. Порівняння цих векторних шарів (рис. 3.4 а, б) продемонструвало істотне зменшення площі лісів між 2015 та 2019 роками. Основними причинами цього стали повторні пожежі, а також вирубка лісів у зоні відчуження [15].

Для кількісної оцінки стану рослинності були використані вегетаційні індекси, зокрема NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) –

якість даних. Саме тому зображення, отримані у різні дати, суттєво відрізняються між собою і потребують додаткової радіометричної корекції для коректного порівняння. Без цієї процедури автоматичний аналіз змін у ландшафті є неточним або неможливим.

Для відокремлення лісових масивів від інших

нормалізований різницевий вегетаційний індекс. Цей індекс широко застосовується у дистанційному зондуванні для оцінки щільності та здоров'я рослинного покриву. Його основа – відмінність у відбитті світла рослинністю у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Здорові зелені рослини поглинають більше видимого світла для фотосинтезу, водночас відбиваючи інфрачервоне світло [5].



а) класифікація земних покривів за космічним знімком Landsat 8 , 29.04.2015 р.

б) класифікація земних покривів за космічним знімком Landsat 8 , 24.04.2019 р.

Рис. 3.4. Метод Maximum Likelihood

(<https://miljournals.knu.ua/index.php/visnuk/article/view/693>)

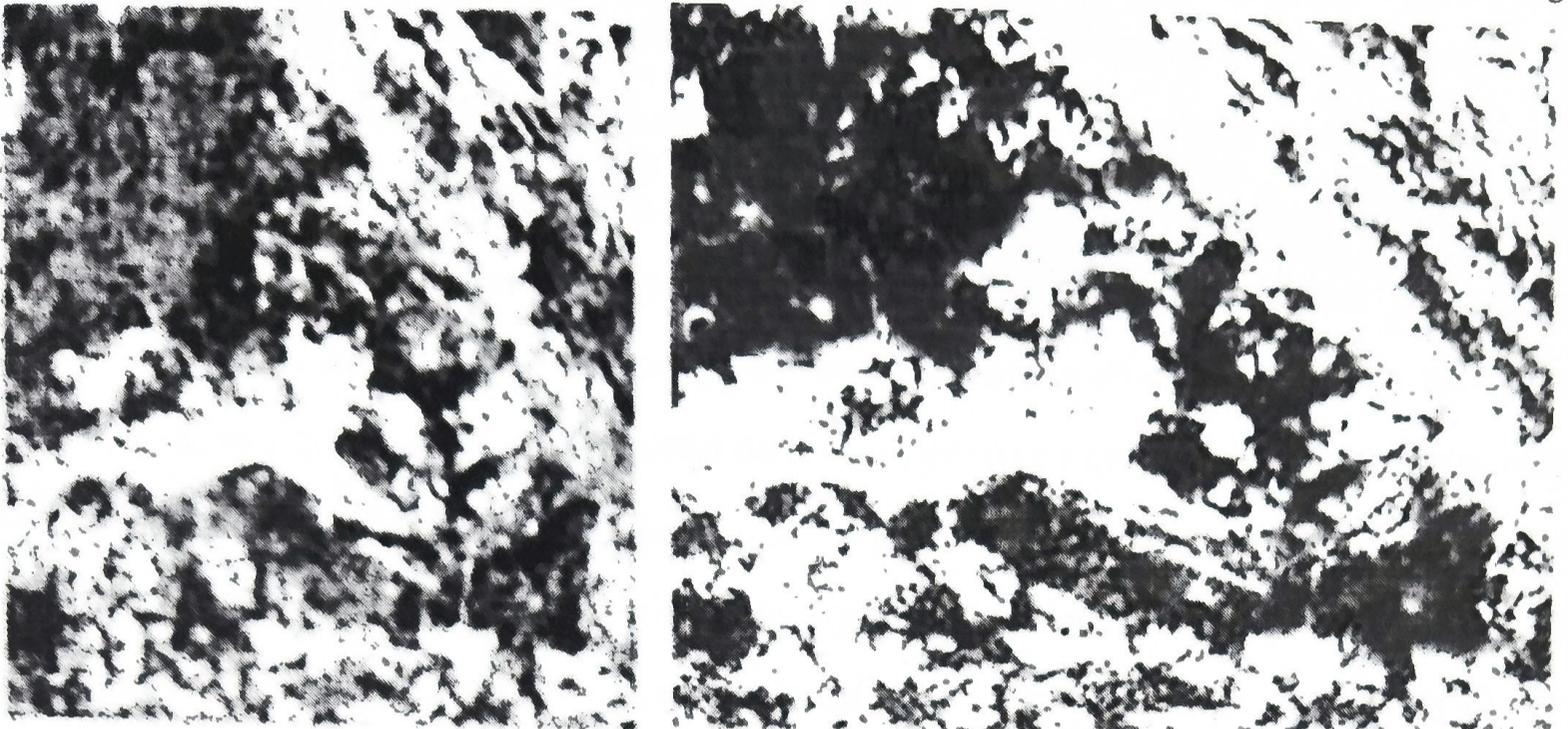
Чим вища ця різниця, тим активніший фотосинтез і кращий стан рослинності. Обчислення NDVI дозволяє простежити зміни у щільності зеленого покриву до та після пожежі та зробити висновки про відновлення екосистеми. Індекс розраховується за формулою [13]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

де *NIR* – інтенсивність відбитого світла у ближньому інфрачервоному спектрі;

RED – інтенсивність відбитого світла в червоному діапазоні спектру.

Результати розрахунку індексів представлені на рис. 3.5 а, б:

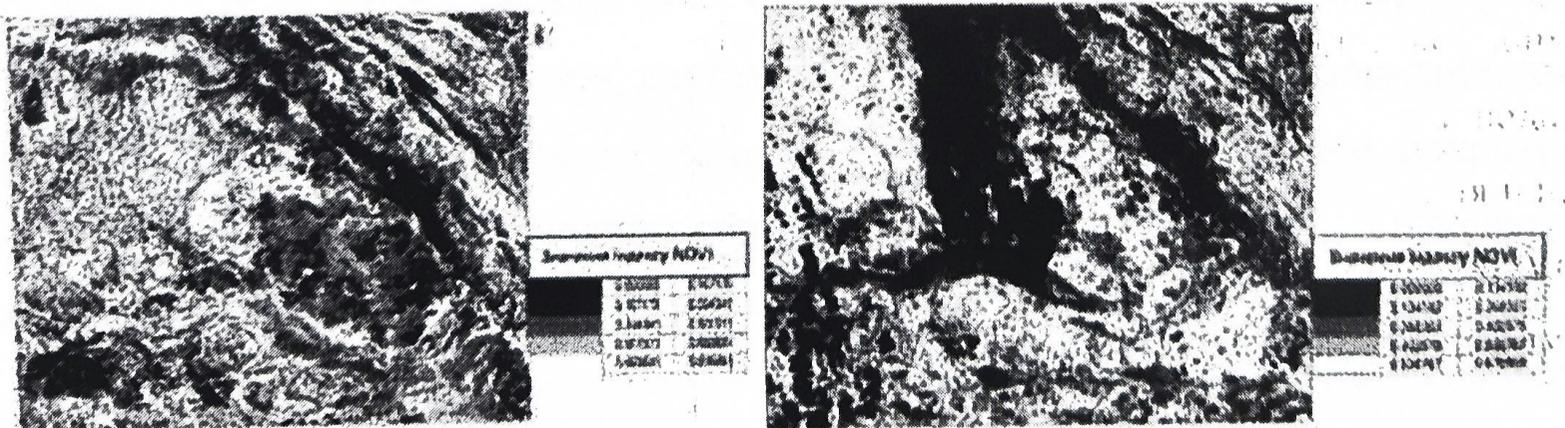


а) за 29 квітня 2015 р.

б) за 24 квітня 2019 р.

Рис. 3.5. Створення класу лісів за космічним знімком Landsat 8 [Джерело: <https://miljournals.knu.ua/index.php/visnuk/article/view/693>]

У процесі аналізу вегетаційного покриття території Чорнобильської зони було визначено, що пікселі, які не належали до класу лісів (зокрема вода, необроблені земельні ділянки, згарище), а також затінені хмарами ділянки, маскувалися чорним кольором [15]. Для цих територій значення NDVI (нормалізованого різницевого вегетаційного індексу) було прийнято рівним нулю, оскільки вони не відображають інформації про зелену біомасу. Коливання значень NDVI протягом періоду дослідження свідчить про зміну кількості рослинної маси та загальний стан вегетації в зоні дослідження (рис. 3.6 а, б):



а) знімок за 2014 р.

б) знімок за 2019 р.

Рис. 3.6. Розрахунок індексу NDVI за космічним знімком Landsat 8, [Джерело: <https://miljournals.knu.ua/index.php/visnuk/article/view/693>]

Основна суть NDVI полягає у використанні спектральних властивостей рослинності. У червоному діапазоні спектра відбувається інтенсивне поглинання сонячного світла хлорофілом, тоді як у ближньому інфрачервоному – максимальне відбиття енергії клітинною структурою листя. Таким чином, чим активніша фотосинтетична діяльність рослини, тим вища різниця між відбиттям у цих двох діапазонах, що дозволяє більш точно оцінити густоту і стан рослинного покриву. На NDVI також впливають такі фактори, як біомаса, вологість ґрунту, загальний рівень рослинності та її активність, тому він вважається одним із найбільш інформативних інструментів для моніторингу екологічного стану територій.

Проблема лісових пожеж стає дедалі актуальнішою в умовах глобальних викликів, таких як скорочення площ лісів, втрата біорізноманіття, зміни клімату та інтенсифікація людської діяльності. У зв'язку з цим надзвичайно важливим є розвиток механізмів запобігання та реагування на стихійні лиха, зокрема через використання космічної інформації. Супутникові дані дозволяють вчасно виявляти осередки займання, прогнозувати розвиток ситуації, своєчасно повідомляти про загрозу та мінімізувати людські і матеріальні втрати. Особливо ефективним є застосування технологій дистанційного зондування в режимі реального часу.

Окрім реагування, супутникові знімки можуть використовуватись для ведення лісового кадастру, створення тематичних карт, інвентаризації лісів та визначення їх таксаційних характеристик. У межах виконаного дослідження було проведено порівняльний аналіз супутникових знімків Landsat 8 за 29.04.2015 р. (у період великої пожежі) та за 24.04.2019 р. (через чотири роки після події). Завдяки методам дистанційного зондування і геоінформаційним технологіям вдалося здійснити комплексну оцінку стану лісового покриву, визначити межі уражених ділянок, обчислити зміни площ лісу, а також виконати класифікацію земних покривів методом Maximum Likelihood.

В Україні більшість природних трав'яних і очеретяних угідь щороку піддаються вогню – деякі ділянки горять навіть двічі або тричі протягом одного сезону. Таке регулярне вигорання суттєво впливає на рівень викидів парникових газів в атмосферу (рис. 3.7).

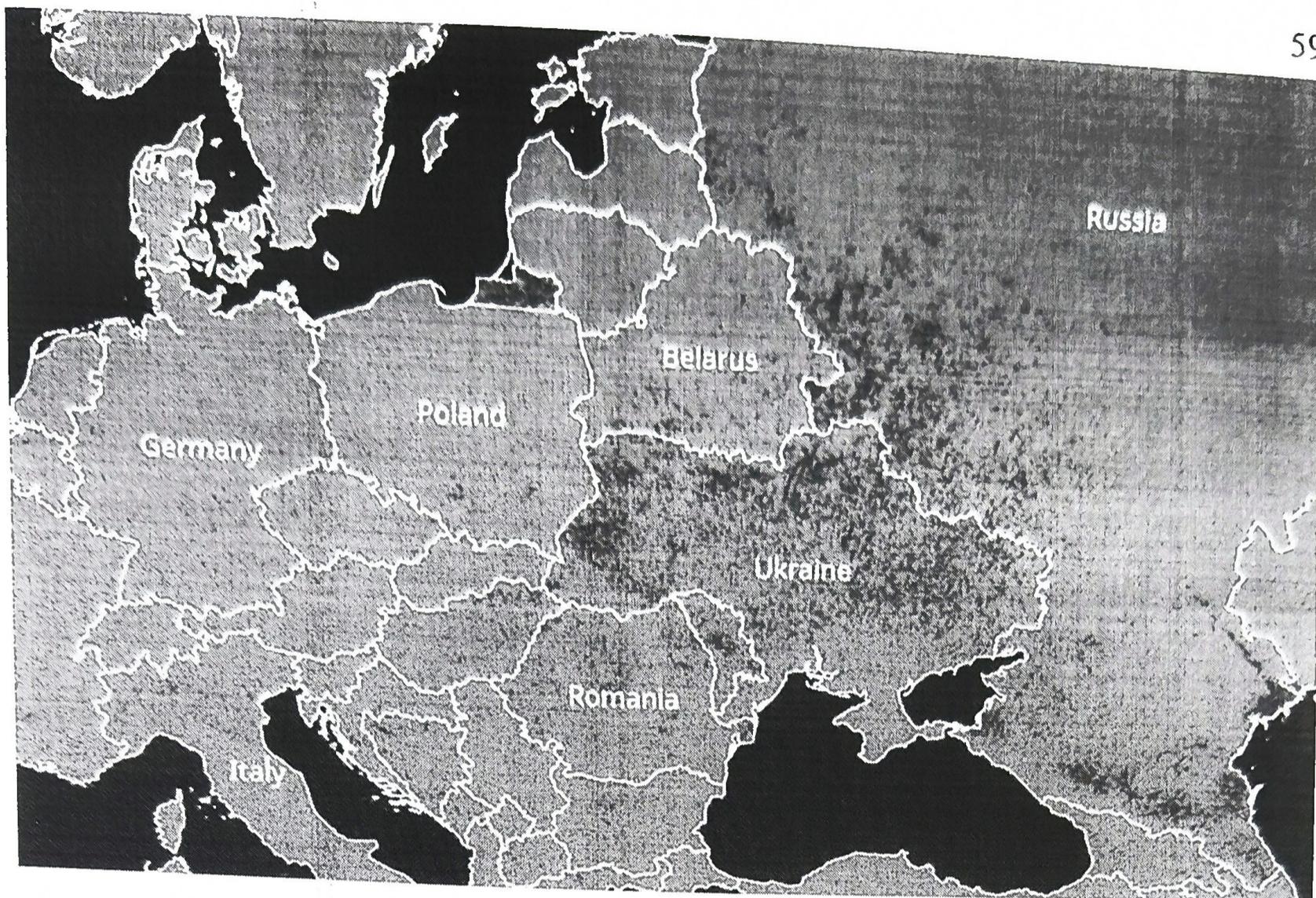


Рис. 3.7. Інтенсивність пожеж на Європейській частині території
 [Джерело: <https://scgis.org.ua/ua/projects/wildfires-mapping/#method>]

Головна причина цих пожеж – людський фактор. Переважно це свідомі підпали – як із конкретними намірами (очищення території, спалення залишків), так і без жодної логіки.

Ситуацію ускладнює відсутність системного державного обліку природних пожеж та реальної оцінки шкоди, якої вони завдають. Унаслідок цього формується хибне враження, що проблеми фактично не існує – відповідно, відсутні й ефективні заходи для її вирішення.

Цікаво, що розв’язання цієї кризи цілком можливе на рівні державної політики. Ілюстративним прикладом є супутникова карта пожеж за березень 2024 року: вона чітко показує, що інтенсивність загорянь відрізняється залежно від країни. Межі поширення вогню збігаються з державними кордонами – це свідчить про ефективність законодавчих та адміністративних рішень у сусідніх державах [24].

У результаті дослідження встановлено відсоткове співвідношення класів земного покриву для кожного року окремо, а також проаналізовано динаміку

зміни стану лісової рослинності на основі NDVI, особливо на Київщині. Отримані результати підтвердили зменшення площі лісів у дослідженому регіоні, що пов'язано не лише з пожежами, а й з вирубкою. Крім того, радіаційні наслідки лісових пожеж мають далекосяжний вплив, що охоплює не лише екологічну, а й соціально-економічну сфери, впливаючи на безпеку не тільки України, а й суміжних держав. У зв'язку з цим надзвичайно важливо продовжувати вдосконалення системи екологічного моніторингу з активним використанням супутникових технологій.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ГІС У СФЕРІ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

4.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі з ГІС і польовими даними

Робота з геоінформаційними системами у сфері лісового господарства передбачає як офісну аналітичну діяльність, так і проведення польових досліджень для збору просторових даних. Обидва ці види діяльності мають свої специфічні ризики й потребують ретельного аналізу небезпек з метою забезпечення безпечних умов праці.

Найбільш ризикованими є польові роботи, які виконуються у складних природних умовах. Працівники, що здійснюють збирання геоданих у лісових масивах, можуть стикатися з низкою фізичних небезпек. До них належить пересування складним рельєфом: круті схили, яри, заболочені місця, місцевості з поваленими деревами або низькою видимістю. У таких умовах зростає ризик отримання травм – розтягів, вивихів, падінь або навіть серйозніших тілесних ушкоджень. Додаткову загрозу становлять метеорологічні умови – висока температура, зливи, грози або різке похолодання. Нерідко польові дослідники працюють у віддалених районах без стабільного мобільного зв'язку, що ускладнює виклик допомоги в надзвичайних ситуаціях.

Окрему групу небезпек становлять контакти з дикою природою. У лісовій місцевості поширені випадки укусів кліщів, які можуть переносити небезпечні інфекційні захворювання, такі як бореліоз або енцефаліт. Також існує ймовірність зустрічі з дикими тваринами (вовками, кабанам, зміями), що потребує спеціальної підготовки персоналу до дій у разі небезпеки.

Не менш важливими є ризики, пов'язані з фізичними навантаженнями, особливо під час довготривалих переходів з важким обладнанням, наприклад, ноутбуками, GPS-приймачами, дронами, джерелами живлення тощо. Це може призводити до перевтоми, зниження концентрації уваги, зневоднення або теплових ударів, особливо в спекотну погоду.

Водночас офісна робота з ГІС також не є повністю безпечною. Тривале перебування за комп'ютером у статичній позі призводить до хронічних болей у шиї, спині, руках, а також до зорового перенапруження. Часто ігноруються правила ергономічної організації робочого місця, що у довгостроковій перспективі може призводити до професійних захворювань опорно-рухового апарату. До технічних ризиків належать можливість ураження електричним струмом через несправне обладнання, коротке замикання або недотримання правил експлуатації комп'ютерної техніки. Також можливе локальне перегрівання обладнання при тривалій роботі без належної вентиляції, що може спричинити займання або втрату даних.

Важливо також враховувати психоемоційні ризики, пов'язані з високим рівнем відповідальності, великим обсягом оброблюваної інформації, роботою з інтенсивними цифровими потоками, а також технічними проблемами – збоями програмного забезпечення, втратою або пошкодженням даних. Все це може викликати стрес, втому та зниження продуктивності праці.

Таким чином, діяльність фахівця з ГІС у контексті лісових пожеж охоплює широкий спектр потенційних небезпек, які слід передбачати й систематично усувати через розробку й впровадження відповідних заходів безпеки, навчання персоналу та забезпечення технічними засобами захисту.

Збір геопросторових даних у лісових масивах пов'язаний із підвищеними ризиками для життя та здоров'я працівників, тому надзвичайно важливою є розробка та дотримання заходів з охорони праці. Усі етапи проведення польових робіт – від підготовки до безпосереднього збору даних – мають супроводжуватися належними організаційними та технічними заходами, спрямованими на запобігання травматизму, переохолодженню, перегріву, укусам тварин та іншим небезпекам [27].

Перед початком польових робіт слід обов'язково провести інструктаж з техніки безпеки. Працівники повинні бути ознайомлені з особливостями природного середовища, можливими загрозами та шляхами їх уникнення. Особливу увагу необхідно приділити ознайомленню з правилами поведінки у

разі надзвичайної ситуації: втрати орієнтації, контакту з небезпечною твариною, травми чи раптового погіршення стану здоров'я. Рекомендується пройти навчання з надання першої домедичної допомоги.

Важливою складовою безпечної роботи є використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). До обов'язкового спорядження належать: міцне водонепроникне взуття з антивібраційною підошвою, головний убір (капелюх або каска), одяг із довгими рукавами, що захищає від укусів комах та рослин, які викликають алергію або подразнення. У регіонах з високим ризиком укусів кліщів слід обробляти одяг спеціальними репелентами. У гірських або заболочених місцевостях доцільним є використання трекінгових палиць та навігаторів для точного орієнтування на місцевості.

Окремої уваги заслуговує організація маршруту та зв'язку. Перед виходом у ліс необхідно розробити чіткий маршрут з урахуванням особливостей рельєфу та кліматичних умов, призначити відповідального за безпеку та забезпечити кожного працівника засобами зв'язку – мобільними телефонами з повністю зарядженими акумуляторами або раціями. У випадку роботи в особливо віддалених районах доцільно використовувати супутникові телефони або GPS-маячки. Також слід забезпечити наявність аптечки з базовими медикаментами та засобами для обробки ран [28].

Під час польових робіт необхідно контролювати фізичний стан працівників. Робочий день повинен бути чітко регламентований з урахуванням погодних умов, а кожні 1,5–2 год. повинні передбачатися короткі перерви для відпочинку та поповнення запасу води. При температурі вище $+30^{\circ}\text{C}$ або нижче -10°C необхідно скоротити тривалість перебування в польових умовах.

Крім того, важливо забезпечити правильне транспортування та використання технічних засобів, таких як ноутбуки, планшети, безпілотники, GPS-приймачі. Вся техніка повинна бути в захищених кейсах, а персонал – інструктований щодо правил її безпечної експлуатації. Зберігання обладнання в несприятливих умовах (висока вологість, перегрівання, механічні удари) недопустиме, оскільки це не лише знижує ефективність досліджень, але й

становить загрозу для здоров'я оператора.

Отже, безпечне виконання польових ГІС-досліджень можливе лише за умови дотримання комплексу заходів з охорони праці, які охоплюють організацію маршруту, використання ЗІЗ, правильне поводження з технікою та підтримку фізичного стану працівників. Впровадження цих заходів не тільки знижує ризик нещасних випадків, а й підвищує ефективність польових досліджень загалом.

4.2 Техніка безпеки при роботі та організації роботи

4.2.1 Техніка безпеки при роботі з комп'ютерним обладнанням та програмним забезпеченням

Хоча офісна робота з геоінформаційними системами здається менш ризикованою порівняно з польовими умовами, вона також вимагає дотримання правил техніки безпеки. Тривала робота за комп'ютером може призводити до хронічних проблем зі здоров'ям, а недотримання правил експлуатації техніки створює ризик електротравм або займання.

Одним із головних аспектів безпеки є правильна організація робочого місця. Робочий стіл повинен бути достатньо просторим для розміщення монітора, клавіатури, миші та іншого обладнання, не створюючи незручностей. Екран монітора має бути встановлений на рівні очей на відстані 50–70 см від користувача, щоб зменшити навантаження на зір. Крісла повинні бути ергономічними, з регульованою висотою, підтримкою попереку та можливістю зміни положення спинки. Недотримання цих вимог може призводити до болю у спині, шийі, м'язової втоми та погіршення постави.

Дотримання режиму праці та відпочинку є критично важливим. Тривалість безперервної роботи за комп'ютером не повинна перевищувати 1 годину, після чого рекомендується робити 5–10-хвилинну перерву для відпочинку очей та зміни положення тіла. Також рекомендовано виконувати прості вправи для рук, плечей та шийі. В умовах високого інформаційного навантаження варто робити більш тривалі перерви щонайменше через кожні 4 години [27].

Не менш важливим є дотримання електробезпеки. Всі пристрої повинні підключатися до справних розеток із заземленням. Заборонено використання пошкоджених подовжувачів, блоків живлення або шнурів із відкритими проводами. Усі електроприлади повинні відповідати вимогам технічної безпеки та мати сертифікати відповідності. При виході з приміщення обладнання слід вимикати, щоб уникнути короткого замикання чи перегріву.

Особливу увагу потрібно приділити роботі з програмним забезпеченням ГІС. Неправильне використання програм, особливо під час обробки великих обсягів даних, може призводити до зависань, втрати результатів або серйозних системних збоїв. Для запобігання таким ситуаціям слід регулярно створювати резервні копії даних, а також працювати з ліцензійними версіями програмного забезпечення, які мають технічну підтримку. У випадку роботи з хмарними сервісами важливо забезпечити належний рівень захисту персональних і просторових даних [27].

Окрему увагу слід приділяти інформаційній безпеці. Працівники повинні бути навчені правилам поведіння з конфіденційною інформацією, захисту доступу до файлів і використання антивірусного захисту. Несанкціонований доступ або втрата інформації через недбале поведіння з файлами може призвести до серйозних наслідків як для проєкту, так і для безпеки об'єктів моніторингу.

Таким чином, ефективна і безпечна робота з комп'ютерним обладнанням та програмним забезпеченням у ГІС-проєктах вимагає комплексного підходу: правильна організація робочого простору, дотримання санітарно-гігієнічних норм, електробезпека, резервне копіювання, програмна грамотність та захист даних є базовими умовами збереження здоров'я фахівців і цілісності даних.

4.2.2 Вимоги до організації робочого місця оператора ГІС

Раціональна організація робочого місця оператора геоінформаційних систем є важливою складовою забезпечення безпеки праці, високої продуктивності та збереження здоров'я працівника. Оператор ГІС зазвичай

проводить за комп'ютером тривалий час, працюючи з великою кількістю просторової, табличної та графічної інформації. Це вимагає створення комфортних, ергономічних і безпечних умов праці відповідно до чинних нормативів з охорони праці.

Насамперед, робоче місце має бути розташоване в добре освітленому приміщенні з достатнім природним освітленням. При недостатній кількості денного світла слід використовувати штучне освітлення з нейтральною температурою світла (4000–5000 К) і достатньою яскравістю, щоб уникати перенапруження зору. Рівень освітлення на робочій поверхні має становити не менше ніж 300 лк. Джерела світла не повинні створювати відблиски на моніторі, бажано використовувати розсіяне світло або індивідуальні настільні лампи з матовими плафонами.

Стіл оператора повинен мати достатню площу (не менше $1,2 \times 0,7$ м) для розміщення монітора, клавіатури, миші, технічної документації та інших необхідних матеріалів. Висота столу має бути в межах 700–750 мм. Крісло має бути регульованим, з опорою для спини та можливістю зміни положення сидіння. Висота сидіння повинна дозволяти оператору тримати стопи на підлозі або підставці, а руки – на рівні клавіатури з прямим кутом у ліктьових суглобах. Забезпечення правильної постави значно знижує ризик розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату [3].

Важливо також правильно розмістити монітор. Верхня межа екрану має бути на рівні очей або трохи нижче, на відстані 50–70 см від обличчя. Монітор повинен мати достатню роздільну здатність (не менше Full HD), особливо при роботі з картографічною інформацією, що містить дрібні елементи. Для підвищення продуктивності й зручності можуть використовуватись два монітори.

Крім фізичних умов, велике значення має психофізіологічна організація праці. Режим роботи повинен включати регулярні перерви: через кожні 60 хвилин – не менше 5–10 хвилин відпочинку. Ці паузи слід використовувати для виконання розминкових вправ, зміни положення тіла та зниження зорового

навантаження. Бажано також організувати провітрювання приміщення або використовувати систему кондиціонування повітря для підтримання комфортної температури (20–24 °С) і вологості (40–60 %).

З метою інформаційної безпеки та збереження даних, робоче місце повинно бути оснащено джерелом безперебійного живлення (UPS), а також мати локальну або хмарну систему резервного копіювання даних. У разі роботи з конфіденційною або чутливою інформацією слід впровадити обмеження доступу, використання паролів та антивірусного захисту.

Загалом, ефективна організація робочого місця оператора ПІС – це поєднання ергономіки, санітарно-гігієнічних вимог, технічної безпеки та турботи про психофізіологічне здоров'я фахівця. Дотримання цих вимог сприяє підвищенню якості роботи та профілактиці професійних захворювань.

4.3 Дотримання протипожежних заходів при польових дослідженнях

Польові роботи в лісових масивах, особливо в періоди підвищеного рівня пожежної небезпеки, повинні супроводжуватись суворим дотриманням протипожежних правил. Фахівці, які займаються збором геоданих, нерідко працюють у суху, жарку погоду, коли навіть незначна необережність може призвести до масштабної лісової пожежі. Тому розробка та впровадження превентивних протипожежних заходів є ключовим аспектом охорони праці в рамках ПІС-досліджень.

Перед початком польових досліджень необхідно оцінити рівень пожежної небезпеки в районі робіт, орієнтуючись на офіційні дані ДСНС України або лісогосподарських підприємств. У разі встановлення високого або надзвичайного класу пожежної небезпеки (IV або V клас), доцільно відкласти виконання завдань або перевести роботи в дистанційний режим, якщо це можливо [4].

Категорично забороняється розведення багать, паління в лісах та використання відкритого вогню на відстані менш ніж 100 метрів від межі лісового масиву. Також не допускається спалювання трав'яної рослинності,

сміття чи залишків рослин на території проведення робіт. Будь-яка дія, що може спричинити іскру чи займання – наприклад, використання несправної техніки з пошкодженим акумулятором – є неприйнятною.

Кожна польова група повинна бути забезпечена первинними засобами пожежогасіння – вогнегасниками, багнетами-лопатами, ємностями з водою або вогнезахисними покривалами. Ці засоби повинні зберігатися у доступному місці, а всі учасники досліджень повинні пройти інструктаж щодо їх використання. В умовах підвищеного ризику доцільно також мати при собі індивідуальні засоби захисту органів дихання від диму.

Окрему увагу слід приділити використанню електронного обладнання, зокрема безпілотників, планшетів, генераторів та зарядних пристроїв. Всі пристрої мають бути технічно справними, зарядженими в безпечних умовах та використовуватись відповідно до інструкцій виробника. Пошкоджене або перегріте обладнання слід негайно вимкнути та від'єднати від джерел живлення.

У разі виявлення ознак пожежі (дим, запах горілого, іскри тощо), працівники повинні негайно припинити роботи, вийти в безпечне місце і повідомити про загрозу найближчу пожежну частину або адміністрацію лісгоспу. Якщо ситуація дозволяє – вжити заходів для її локалізації, не наражаючи себе на небезпеку.

Загалом, дотримання протипожежних заходів у ході польових ГІС-досліджень – це не лише вимога безпеки, а й елемент професійної відповідальності фахівця. Враховуючи, що тема лісових пожеж є центральною для даної дипломної роботи, саме усвідомлене ставлення до запобігання займанню під час досліджень демонструє практичну значущість наукового підходу до проблеми.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було всебічно проаналізовано значення геоінформаційних систем у сфері прогнозування, моніторингу та управління лісовими пожежами, з особливим акцентом на український контекст. Отримані результати дають підстави для формування низки важливих висновків, які стосуються як теоретичних, так і практичних аспектів застосування ГІС у лісовому господарстві.

По-перше, геоінформаційні системи є ключовим інструментом в управлінні просторовими даними, що дозволяє ефективно аналізувати, моделювати та візуалізувати природні процеси, зокрема пожежі. Завдяки здатності обробляти велику кількість різноманітної інформації (топографічної, кліматичної, екологічної, супутникової), ГІС створює надійне аналітичне середовище для прийняття управлінських рішень.

По-друге, особливості лісових екосистем України – зокрема велике різноманіття типів лісів (хвойні, мішані, листяні), неоднорідність кліматичних умов та інтенсивний людський вплив – зумовлюють підвищену вразливість до пожеж. Аналіз причин їх виникнення показав, що переважна більшість лісових пожеж має антропогенне походження, що вимагає підвищеної уваги до профілактики та прогнозування.

У другому розділі встановлено, що ГІС дозволяє точно виявляти пожежонебезпечні зони за допомогою просторового аналізу факторів ризику: сухості ґрунтів, типу рослинності, погодних умов, близькості до джерел загоряння тощо. Завдяки методам моделювання можливо оцінити ймовірність виникнення пожеж, створювати карти ризику, а також формувати сценарії розвитку ситуації в разі займання. Особливу роль у цьому відіграє інтеграція супутникових даних, яка дозволяє постійно оновлювати інформацію про стан лісів і динаміку кліматичних умов.

Розгляд третього розділу засвідчив, що ГІС активно використовується в оперативному моніторингу та управлінні лісовими пожежами. У режимі

реального часу система дозволяє ідентифікувати осередки займання, оцінити швидкість поширення вогню, визначити загрозу для населення та інфраструктури. Одним із найважливіших застосувань ГІС є оптимізація розподілу ресурсів – від визначення безпечних маршрутів для пожежної техніки до планування евакуаційних заходів. Український досвід ще перебуває в стадії розвитку, однак приклади застосування відкритих ГІС-даних (наприклад, з систем NASA, Copernicus) демонструють потенціал технологій для національної системи реагування.

На міжнародному рівні ГІС-технології вже довели свою ефективність. Вони є основою для побудови інтегрованих систем управління надзвичайними ситуаціями у США, Канаді, Австралії, країнах ЄС. Цей досвід свідчить про необхідність системного впровадження подібних рішень в Україні, особливо у сфері лісового господарства, ДСНС та екологічного моніторингу.

Перспективи подальшого розвитку полягають у глибшій інтеграції ГІС із іншими цифровими технологіями – штучним інтелектом, мобільними додатками, сенсорами та безпілотниками. Це дозволить створити повноцінну систему раннього попередження та управління лісовими пожежами в Україні, здатну ефективно відповідати на сучасні виклики.

Отже, можна зробити висновок, що роль ГІС у прогнозуванні та управлінні лісовими пожежами є стратегічно важливою, адже ці технології забезпечують точність, оперативність і наукову обґрунтованість дій. Для підвищення ефективності боротьби з пожежами в Україні необхідно продовжувати розвиток національної ГІС-інфраструктури, впроваджувати сучасні цифрові рішення на рівні державних установ і місцевих громад, а також забезпечити навчання фахівців. У поєднанні з міжнародною співпрацею та новітніми технологіями це стане запорукою зменшення шкоди від пожеж і збереження природних багатств країни.

1. Барабаш О. В., Бандурка О. І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байеса та геоінформаційних технологій. *Сучасні інформаційні системи*. 2022. Т. 6. № 1. С. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.1.03>.
2. Барановський Н.В., Янкович Є.П. ГІС-технології та математичне моделювання для прогнозування небезпеки лісових пожеж, спричинених блискавками. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 1. С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-1-4>.
3. Березовецька І. А., Трунова І. О., Березовецький, А. П., Пістун І. П. Охорона праці (лісопаркове господарство): навч. посіб. Львів: Ліга-Прес, 2012. 496 с.
4. Борисенко О.І., Мешкова В.Л. Прогнозування поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами ГІС: монографія. Харків: Планета-Прінт, 2021. 148 с. ISBN 978-617-7897-67-4.
5. Вершигор В.Г., Гусак О.М. Аналіз ефективності виявлення джерел лісових пожеж оператором за допомогою супутникових знімків. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/7(65). С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.7008>.
6. Воротинський, О. Г. Протипожежні профілактичні заходи у ДП «Холминське лісове господарство». К. : НУБіП України, 2019. 102 с.
7. Геопортал «Ліси України». [Електронний ресурс]. URL : <https://forestry.org.ua/>
8. Головіна Н.В. Розроблення системи підтримки прийняття рішень для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. Вип. 2. С. 21–28. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.21>.
9. Гулевець В. Геопросторові технології для оцінки наслідків війни \ [Електронний ресурс] // *Національний екологічний центр України*. 2023. URL:

- <https://necu.org.ua/geoprostorovi-tehnologiyi-dlya-oczinky-naslidkiv-vijny/>
10. Гуліда Є., Мовчан І., Васильєв М. Методологія прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій в містах з урахуванням ризиків. *Пожжежна безпека*. 2019. № 35. С. 16–22.
 11. Гусак О.М., Вершигора В.Г. Аналіз ефективності виявлення джерел лісових пожеж оператором за допомогою супутникових знімків. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/7(65). С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.7008>.
 12. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Оперативна інформація. [Електронний ресурс]. URL : <https://dsns.gov.ua>
 13. Державне агентство лісових ресурсів України. Щорічні звіти про стан лісових пожеж (2020–2024) [Електронний ресурс]. URL : <https://forest.gov.ua> (Дата звернення 01.04.2025)
 14. Дмитрів О.П., Мосійчук В.С. Дослідження та аналіз пожежонебезпечних лісових територій за допомогою ГІС-технологій на основі даних дистанційного зондування Землі. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2017. Вип. 2(78). С. 16–24. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/9194/>.
 15. Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., Васецька К. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2020. № 44(2). С. 54–58.
 16. Зібцев С.В. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні. *Ukrainian journal of forest and wood science*. 2019. Вип. 10, № 3. С. 27–40.
 17. Зібцев С.В., Сошенський О.М., Міроник В.В., Гуменюк В.В. Моніторинг ландшафтних пожеж на українській частині транскордонної Рамсарської території Олмани-Переброди за допомогою даних дистанційного зондування. *Лісівництво та лісомеліорація*. 2019. № 134. С. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.88>.
 18. Зібцев С.В., Миронюк В.В., Богомолів В.В., Яворовський П.П.,

Сошенський О.М., Гуменюк В.В., Сендонін С.Є., Левченко В.В., Пузріна Н.В. Науково-методичне забезпечення створення геопорталу для оцінювання ризику, прогнозування та попередження природних пожеж в Україні : монографія. – К. : «Наукова столиця» ФОП Шмидко Т.С., 2021. 340 с. - ISBN 976-617-7649-47-1.

19. Кочеригін Л.Ю., Кімейчук І.В., Пантюшенко К.А. Роль ГІС-технологій у прогнозуванні та управлінні лісовими пожежами в Україні. *Сучасні виклики і актуальні проблеми лісівничої освіти, науки та виробництва : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (Біла Церква, 18 квітня 2025 р.). Біла Церква: БНАУ, 2025. С. 141–146.

20. Лісовий кодекс України. Кодекс України, Закон, Кодекс. № 3852-XII від 21.01.1994. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>. (дата звернення 12.04.2025)

21. Миронюк В. В. Використання сезонних композитних мозаїк Landsat для оцінки та картографування лісових ресурсів. *Актуальні проблеми наук про життя та природокористування : зб. матеріалів учасн. Міжнар. наук.-практ. конф.* Київ : 2018. С. 150–153.

22. Міроник В. В., Зібцев С. В., Богомолів В. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Васишин Р. В. Веб-платформа «Ландшафтні пожежі»: інформаційна система управління пожежами регіонального рівня для північної України. *Геоінформатика*. 2021. Т. 2021. С. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521113>.

23. Моніторинг пожеж. SCGIS Ukraine. URL : <https://scgis.org.ua/ua/projects/wildfires-mapping/#method>. Назва з екрану.

24. Нестеренко О. В., Поліщук В. Б., Хижняк В. В., Шевченко В. Л. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень щодо визначення ресурсів для гасіння лісової пожежі засобами авіації. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. Т. 46, № 2. С. 109–123.

25. Про схвалення Стратегії розвитку гідрометеорологічної діяльності в Україні на період до 2030 року. Кабінет Міністрів України : розпорядження від 24 лист. 2021 р. № 1501-р. *Офіційний вісник України*. 2021. № 94. Ст. 5730. URL:

- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1501-2021-p>. (дата звернення: 05.05.2025)
26. Путренко, В. В. (2016). Data mining of the risk of natural fires based on geoinformation technologies. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(3(30)), 67–72. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.76154>
27. Путренко В. В. Інтелектуальний аналіз небезпеки виникнення природних пожеж на основі геоінформаційних технологій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2014. Вип. 19. С. 80-83. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbgo_2014_19_19
28. Слободяник М. П., «Використання методів ДЗЗ та ГІСТ-технологій для моніторингу лісових ресурсів» *Вісник геодезії та картографії*, 2014, № 1 (88) 27. С.27-31. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vgtk_2014_1_2.pdf (дата звернення: 14.04.2025).
29. Смужаниця Я. В. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи охорони праці в галузі» (для бакалаврів спеціальності 205-Лісове господарство). Ужгород: УжНУ, 2021. 55 с.
30. Товариство «Лісівників України». [Електронний ресурс]. URL : <https://tlu.kiev.ua/pro-nas/novini-zakhodi/novina/article/kilkist-lisovikh-pozhezh-u-porivnjanni-z-2021-r-zrosla-u-23-razi-a-ploshcha-u-77-raziv.html>. (Дата звернення 01.05.2025)
31. Робота у лісовому господарстві: основні ризики та заходи безпеки. Охорона праці і пожежна безпека. 2019. URL: <https://oppb.com.ua/news/robo-ta-u-lisovomu-gospodarstvi-osnovni-ryzyky-ta-zahody-bezpeky> Назва з екрану. (дата звернення 01.06.2025)
32. Томченко О. В., Бабій Л. В., Четвериков Б. І., Севрук А. М. Дослідження лісових пожеж за допомогою даних дистанційного зондування (на прикладі Чорнобильської зони відчуження). *Наукові праці ЛНУ імені Івана Франка*. 2021. Вип. 94. С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.94.035>
33. Український ордена «Знак пошани» науково-дослідний інститут

лісового господарства та агролісомеліорації ім. г. м. Висоцького. Офіційний сайт. Інтернет ресурс : <https://uriffm.org.ua/uk/news/618>. (дата звернення 01.05.2025)

34. Філіппова І. Застосування програмного забезпечення ArcGIS PRO в сфері цивільного захисту. *Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції ІБІТ–2024*. Львів : ЛДУБЖД, 2024. С. 42–45.

35. Шепелев О. О., Білова М. В. Оцінка стану лісу в умовах пожежі на основі обробки супутникових знімків. *Колінс 2020: матеріали 4-ї Міжнародної конференції*. Львів, 2020. С. 228–229. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/57067>

36. Arsirii O. O., Krachunov H. A., Smyk S. Y, Troianovska Y. L. Methods of analysis and visualization of active fires and burnt areas of geospatial data. *Вісник сучасних інформаційних технологій*. 2021 5 (1), 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.05.2022.6>

37. Baranovskiy N. V., Yankovich E. P. GIS-technologies and mathematical simulation to predict lightning-caused forest fire danger. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. No. 1. P. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-1-4>

38. FIRMS – Fire Information for Resource Management System. NASA [Електронний ресурс]. URL : <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>

39. Horelyk S., Saul-Hoze D., Sych R. Methodology for forest loss assessment using GIS technologies. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 2023. Vol. 10, No. 2. P. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.237>

40. Kovalchuk I., Fedoniuk M., Kovalchuk I., Fedoniuk V., Vovk O. Analysis of Wildfire Occurrence based on Remote Data in the Lutsk District (2012–2022). *Earthdoc*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510078>.

41. Key C.H., Benson N.C. (). Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods. USDA Forest Service. 2006. 55 p.

42. Kuzmenko Yu. I., Havlovska L. V. Assessment of the Landscape Fires Spread in the Chernobyl Exclusion Zone in March 2022 Based on the Rothermel Model and Sentinel-2 Satellite Imagery. *Nuclear Power and the Environment*. 2022.

43. Lischenko L., Shevchuk R., Filipovich V. The technique for satellite monitoring of peatlands in order to determine their fire hazard and combustion risks. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 2022. Vol. 9, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.210>.

44. Skydan O. V., Fedoniuk T. P., Mozharovskii O. S., Zhukov O. V., Zymarioieva A. A., Pazych V. M., Hurelia V. V., Melnychuk T. V. Monitoring tree mortality in Ukrainian *Pinus sylvestris* L. forests using remote sensing data from earth observing satellites. *Annals of Forest Research*. 2022. Vol. 65, No. 2. P. 2328. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2022.2328>

45. Slichna L., Bondarenko E. Development of a Software Application for Geoinformation Mapping of Forest Cover in the Territory of Ukraine Using Remote Sensing Data. *Earthdoc*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510104>

46. Zibtsev S. V., Pasternak V. M., Vasylyshyn R. V., Myroniuk V. V., Sydorenko S. V., Soshenskyi O. M. Assessment of carbon emissions due to landscape fires in Ukraine during war in 2022. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2024. Vol. 15, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrforestsscience2024.01.013>

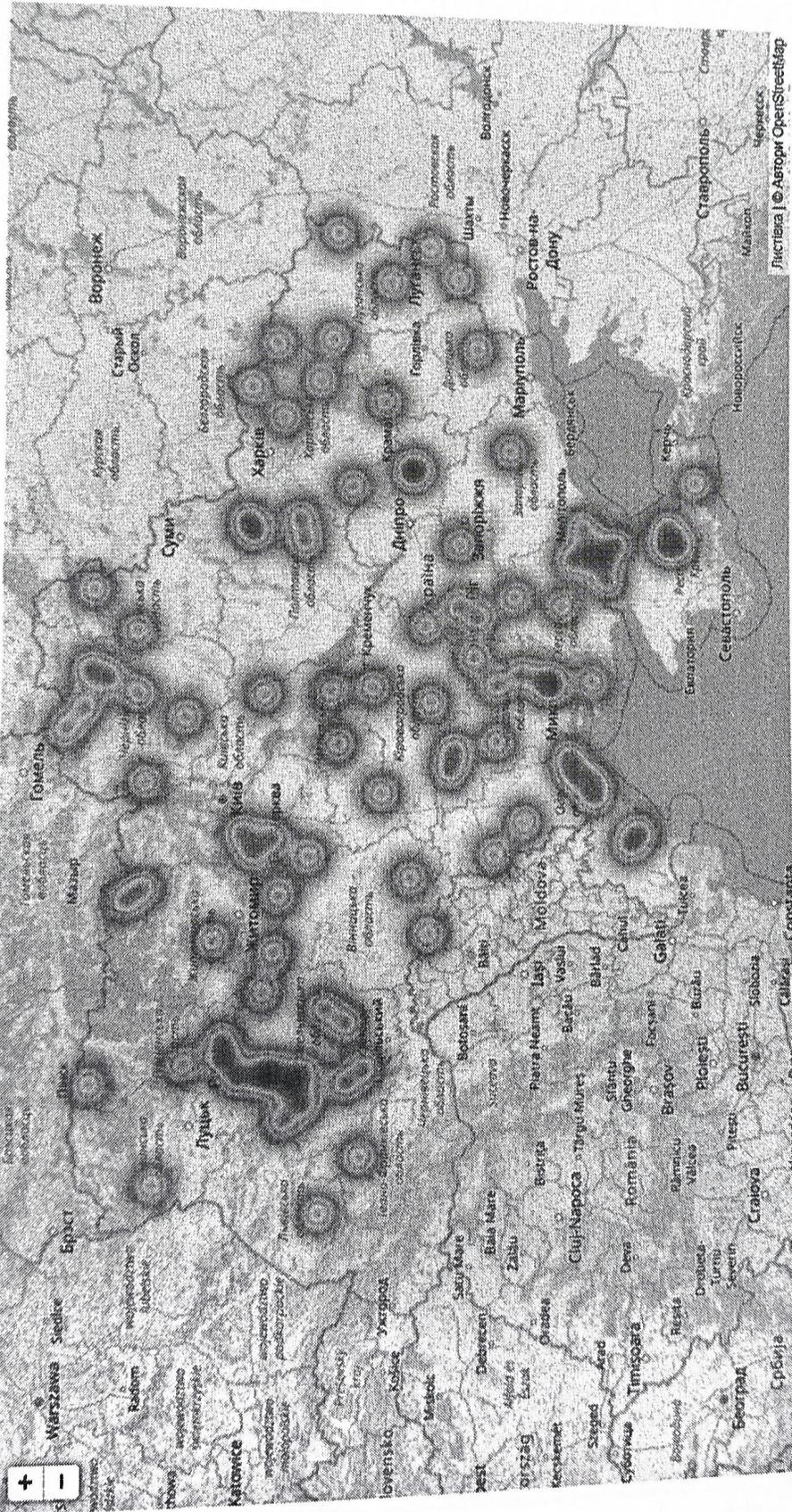
47. Zibtsev S. V., Soshenskyi O. M., Myroniuk V. V., Gumeniuk V. V. Landscape fire monitoring in the Ukrainian part of the Olmany-Perebrody Transboundary Ramsar site based on remote sensing data. *Forestry and Forest Melioration*. 2019. No. 134. P. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.88>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Лісові пожежі в Україні

Про проект



ПЕРЕГЛЯНУТИ КАРТУ ЧИСТА КАРТА

Лісові пожежі (супутникові дані)

MODIS (2019)

Червень

показати як точки

теплова карта

жодного

Регіони України

Райони України

Шари плиток

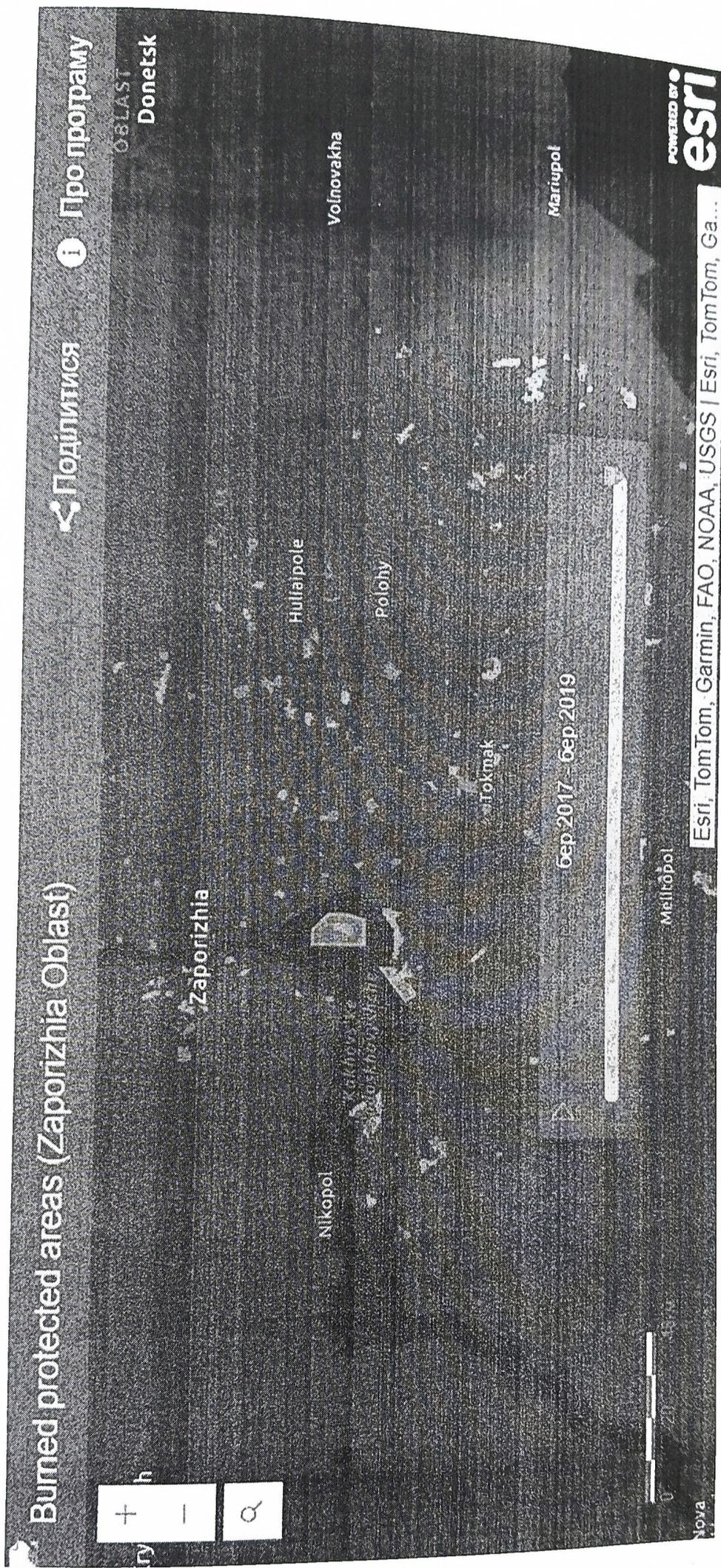
Відкрити карту вулиць

Відкрити топокарту

Зображення світу Esri

Лісові пожежі в Україні у червні 2019 р.

(<https://webgis.geohub.org.ua/wildfires.html>)



Моніторинг пожеж у лісових ІЗФ за останні роки.
(<https://scgis.org.ua/ua/projects/wildfires-mapping/#method>)

