

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально - науковий інститут екології
Кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ДИСТАНЦІЙНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПОЖЕЖ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ (НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Виконала: студентка 4 курсу, групи ДЕ-42
спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

ПІ автора _____ / _____ Софія Філь
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник _____ / _____ доц. Анастасія КЛЄЩ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Зав. кафедри _____ / проф. Надія МАКСИМЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Аліна ГРЕЧКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Світлана БУРЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

2. Виконати аналіз просторово-часової динаміки пожеж на території Харківської області за період 2022–2025 років за даними EFFIS;

3. Визначити просторові ареали з високою інтенсивністю пожеж, що корелюють із зонами активних бойових дій на території Харківської області;

4. Створити актуальний кадастр заповідних об'єктів Харківської області, на територіях яких виявлені пожежі у 2022-2025 рр.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Постановка мети та визначення завдань дослідження.
2	Підготовка теоретичної частини кваліфікаційної роботи.
3	Планування змісту дослідницької частини роботи. Ознайомлення та опис методичних підходів, що заплановано до використання у дослідженні.
4	Експорт та підготовка вихідної бази даних для проведення дослідження.
5	Виконання картометричних обчислень та моделювання розподілу розподілу пожеж в межах фізико-географічних районів Харківської області. Аналіз отриманих результатів.
6	Укладання картографічних творів, що візуалізують результати дослідження.
7	Робота над текстом дослідницького розділу.
8	Підготовка висновків. Робота з оформленням бібліографічних посилань.
9	Оформлення тексту роботи та проходження норм контролю.

5. Дата видачі завдання «28» травня 2024 року.

Студент

підпис

Софія ФІЛЬ

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

доц. Анастасія КЛЄЩ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ
ДИСТАНЦІЙНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПОЖЕЖ В
УМОВАХ ВІЙСЬКОВИХ АГРЕСІЇ
(НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Софія ФІЛЬ

Кваліфікаційна робота «Дистанційний екологічний моніторинг пожеж в умовах військових агресії (на прикладі Харківської області)» містить 50 сторінок, 3 розділи, 3 таблиць, 16 рисунків і 45 використаних джерел.

Мета роботи: оцінити просторово-часові особливості виникнення пожеж на території Харківської області в умовах військової агресії (2022–2025 рр.) шляхом дистанційного екологічного моніторингу.

Актуальність теми. Сучасні умови збройного конфлікту на території Харківської області різко посилили інтенсивність масових пожеж, що вимагають оперативного моніторингу новими методами. Дослідження присвячене аналізу динаміки площ пожеж за даними загальноєвропейської програми дистанційного моніторингу пожеж EFFIS.

Завдання : висвітлити теоретичні аспекти дистанційного моніторингу пожеж, їх екологічних наслідків та сучасних методів аналізу; проаналізувати просторово-часову динаміку пожеж на території Харківської області за період 2022–2024 років за даними EFFIS; визначити просторові ареали з високою інтенсивністю пожеж, що корелюють із зонами активних бойових дій на території Харківської області; визначити заповідні об'єкти Харківської області, на територіях яких виявлені пожежі у 2022-2025 рр.

Методи: Аналіз даних супутникового моніторингу (EFFIS), ГІС-аналіз (просторове накладання шарів, статистичний аналіз даних, картографування), компаративний аналіз динаміки пожеж.

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ, ПОЖЕЖІ, ХАРКІВСЬКА ОБЛАСТЬ, ВІЙСЬКОВА АГРЕСІЯ, ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ РАЙОН, ДИНАМІКА, EFFIS, ВИГОРІЛІ ПЛОЩІ.

SUMMARY

REMOTE ENVIRONMENTAL MONITORING OF FIRES IN THE CONDITIONS OF MILITARY AGGRESSION (ON THE EXAMPLE OF KHARKIV REGION)

Sofia FIL

Qualification work "Remote environmental monitoring of fires in the conditions of military aggression (on the example of Kharkiv region)" contains 50 pages, 3 sections, 1 table, 17 figures and 45 used sources.

Purpose: to assess the spatiotemporal patterns of wildfire occurrence in Kharkiv region under conditions of military aggression (2022-2025) using remote ecological monitoring

Actuality of theme. The current conditions of the armed conflict in the Kharkiv region have sharply increased the intensity of mass fires, which require operational monitoring using new methods. The study is devoted to the analysis of the dynamics of fire areas according to the data of the pan-European remote fire monitoring programme EFFIS.

The objectives: to highlight the theoretical aspects of remote monitoring of fires, their environmental consequences and modern methods of analysis; to analyse the spatial and temporal dynamics of fires in the Kharkiv region for the period 2022-2024 according to EFFIS data; to identify spatial areas with high fire intensity that correlate with areas of active hostilities in the Kharkiv region; to identify protected areas in the Kharkiv region where fires were detected in 2022-2025.

Methods: Analysis of satellite monitoring data (EFFIS), GIS analysis (spatial layer overlay, statistical data analysis, mapping), comparative analysis of wildfire dynamics.

REMOTE MONITORING, WILDFIRES, KHARKIV REGION, MILITARY AGGRESSION, PHYSICO-GEOGRAPHICAL ZONE, DYNAMICS, EFFIS, BURNED AREAS.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	9
1.1 Екологічна роль та чинники виникнення пожеж у навколишньому середовищі.....	9
1.2 Сучасні наукові проекти та місії з моніторингу пожеж засобами дистанційного зондування землі.....	17
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	25
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ	28
3.1 Аналіз динаміки кількості осередків пожеж на території Харківської області у 2022-2025 рр. за даними FIRMS.....	28
3.2 Аналіз динаміки кількості осередків пожеж та вигорілих площ на території Харківської області у 2022-2025 рр. за даними EFFIS.....	30
3.3 Ареали з високою інтенсивністю пожеж у зоні активних бойових дій на території Харківської області.....	39
3.4 Заповідні об'єкти Харківської області, на території яких зафіксовані пожежі у 2022-2025 рр.....	40
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність дослідження. Пожежі в умовах військової агресії стали серйозною загрозою для екологічної безпеки України, особливо у прифронтових регіонах, таких як Харківська область. Традиційні системи моніторингу, що базуються на наземних спостереженнях, зараз є неефективними через об'єктивну недоступність територій. В тому числі це позначається і на недооцінці виявлення та оцінці наслідків пожеж для екологічного стану ландшафтів області. У цьому контексті використання сучасних методів дистанційного зондування Землі та ГІС-аналізу стає критично важливим для оперативного та об'єктивного моніторингу пожежної ситуації.

Дане дослідження актуальне, оскільки пропонує використовувати сучасний підхід до аналізу пожеж на основі супутникових даних European Forest Fire Information System (далі – EFFIS), що дозволяє точно оцінювати масштаби та динаміку вигорянь. Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення державної системи моніторингу, що особливо важливо в умовах війни, коли оперативний аналіз пожеж може допомогти зменшити екологічні та економічні збитки.

Об'єкт дослідження – пожежі в природних і антропогенних ландшафтах Харківської області в умовах військової агресії впродовж 2022–2025 рр.

Предмет дослідження – просторово-часові закономірності виникнення та поширення пожеж на території Харківської області, виявлені за допомогою дистанційного моніторингу.

Мета дослідження – оцінити просторово-часові особливості виникнення пожеж на території Харківської області в умовах військової агресії (2022–2025 рр.) шляхом дистанційного екологічного моніторингу.

Відповідно до поставленої мети означено такі завдання:

1. Висвітлити теоретичні аспекти дистанційного моніторингу пожеж, їх екологічних наслідків та сучасних методів аналізу;
2. Проаналізувати просторово-часову динаміку пожеж на території Харківської області за період 2022–2024 років за даними EFFIS;
3. Визначити просторові ареали з високою інтенсивністю пожеж, що корелюють із зонами активних бойових дій на території Харківської області;
4. Визначити об'єкти природно-заповідного фонду Харківської області, на територіях яких виявлені пожежі у 2022-2025 рр.

Методи дослідження – аналіз даних супутникового моніторингу (EFFIS), ГІС-аналіз (просторове накладання шарів, статистичний аналіз даних, картографування), компаративний аналіз динаміки пожеж.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Екологічна роль та чинники виникнення пожеж у навколишньому середовищі

Пожежі у навколишньому середовищі виникають під впливом різноманітних природних та антропогенних чинників. До природних можна віднести кліматичні умови (температура, посухи, сильні вітри), блискавки, вулканічну активність, самозаймання, стихійні лиха. До антропогенних чинників відносять необережне поводження з вогнем, недотримання заходів пожежної безпеки, випалювання сухої рослинності і залишків сільськогосподарських культур, іскри від техніки, які в легкозаймистому середовищі провокують пожежі тощо.

Природна пожежа — неконтрольований процес горіння у навколишньому середовищі, що супроводжується виділенням тепла, світлового випромінювання та диму [19, 43]. Виникає стихійно, розповсюджується в довкіллі створюючи небезпеку для людини та завдаючи шкоду навколишньому середовищу.

До пожеж у природних екосистемах відносять лісові та торф'яні пожежі, пожежі на відкритих територіях (ландшафтні, степові), а також пожежі на сільськогосподарських угіддях (полях зернових і технічних культур) [27, 43].

Лісова пожежа — це стихійне розповсюдження вогню територією лісового фонду. Їх поділяють на низові, верхові та підземні. Низові та верхові в свою чергу розподіляють за інтенсивністю на слабкі, середньої сили та сильні пожежі [41]. Більшість займань, а саме близько 90% [43], викликані діяльністю людини. Ймовірність виникнення лісових пожеж залежить від таких факторів, як опади, температура повітря, вологість, вітер і хмарність.

Під час низових пожеж горіння відбувається на рівні ґрунту, охоплюючи підстилку, трав'яний покрив і нижні частини дерев. Вони складають близько 80 – 90% усіх лісових пожеж.

Верхові пожежі характеризує вогонь, що поширюється на крони дерев. Вони можуть бути стійкими (рухаються поступово) або рухливими (поширюються стрибками). Верхові лісові пожежі зазвичай формуються з низових, відрізняючись тим, що вогонь охоплює не лише надґрунтовий покрив, але й нижні яруси дерев. Існують також випадки, коли пожежа охоплює лише крони дерев, але такі верхові пожежі не тривають довго без підтримки низової пожежі. Ці явища супроводжуються значним виділенням тепла. Полум'я може досягати висоти понад 100 метрів, а вогонь здатен поширюватися на великі відстані, іноді до кількох сотень кілометрів. Швидкість розповсюдження таких пожеж досягає 8 – 25 км/год, що робить їх особливо небезпечними [19].

За наказом «Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України» за розмірами пожежі поділяють на особливо великі, під час яких площа займання складає більше 200 га, великі від 5 до 200 га та невеликі до 5 га. Розрізняють крім того побічні пожежі, що виникають від іскор поза контуром основної території горіння, які приносить вітер. З них можуть утворюватися плямисті пожежі [41].

Торф'яні пожежі — складне природне явище, що має екологічні, економічні та соціальні наслідки. Процес неконтрольованого горіння органічної речовини поширюється під поверхнею землі та триває місяцями навіть у несприятливих умовах, наприклад, під снігом чи в мороз [44]. У посушливі періоди торф висихає, що робить його більш схильним до займання. Високі літні температури нагріваючи поверхню, сприяють розвитку процесу тління. Температура всередині може підвищуватися щодня на 0,5 – 4,5°C і досягати критичних значень (60 – 75°C), запускаючи процес займання [44]. Також значний відсоток загорянь спостерігається через грозову активність сухих гроз (поодинокі удари блискавок без зливи).

Торф складається з органічних залишків рослин, таких як мохи, трави, деревина, а також мінеральних речовин. Утворюється в болотах через накопичення органічних залишків рослин у умовах високої вологості та обмеженого доступу кисню [36]. Щорічний приріст становить лише 0,5 – 1 мм, отже для формування значних шарів потрібні тисячі років. Вміст вуглецю в торфі становить близько 50 – 60% [35], що робить його горючим матеріалом. Теплота його згоряння може досягати 10,5 – 14,6 МДж/кг [34], залежно від його вологості. В Україні здебільш використовується у якості палива і лише 19% в якості добрива.

Самозаймання торфу може відбуватися через накопичення тепла внаслідок мікробіологічних та хімічних процесів. Торф горить повільно, часто без полум'я, утворюючи порожнини в ґрунті [33]. Температура в зоні горіння сягає понад 1000°C, але такі пожежі складно ідентифікувати, оскільки процес відбувається під землею. Процес тління триває місяцями через велику щільність та низьку теплопровідність. До того ж торф може горіти на глибині до 1 метра, що ускладнює його пряме гасіння.

Сфокусовані сонячні промені можуть бути однією з причин самозаймання і виникнення пожеж у природних умовах та побуті. Скляні предмети, такі як пляшки, ємності з прозорою водою чи інші скляні вироби, часто виконують роль оптичних лінз, фокусуючи сонячне світло в одну точку [29]. Це створює висококонцентроване тепло, яке може підпалити легкозаймисті матеріали, наприклад, суху траву, сіно чи деревину.

Пірогенна релаксія геосистем — це процес відновлення природних комплексів після впливу пожеж, який включає адаптацію геосистем до змінених умов [22]. Є важливим етапом у відновленні екосистем, оскільки пожежі суттєво впливають на їхню структуру, функціонування та динаміку.

Постпірогенні процеси пірогенної релаксії охоплюють широкий спектр змін у природних екосистемах, що відбуваються після пожеж. Ці процеси впливають на структуру, динаміку та функціонування екосистем, зокрема

грунтів, рослинного покриву, тваринних угруповань та гідрологічного режиму.

Під дією високих температур відбувається вигорання органічних речовин у поверхневих горизонтах ґрунту. Це знижує вміст гумусу, змінює структуру ґрунту та збільшує його щільність. У той же час, відбувається підвищення вмісту зольних елементів (фосфору, кальцію, магнію) [21].

Пожежі впливають на гідрологічний режим території, зменшуючи фільтраційну здатність ґрунтів через ущільнення, знищення рослинності призводить до збільшення поверхневого стоку та ерозії, а мінералізація ґрунтового розчину через збільшення солей змінює водний баланс [40].

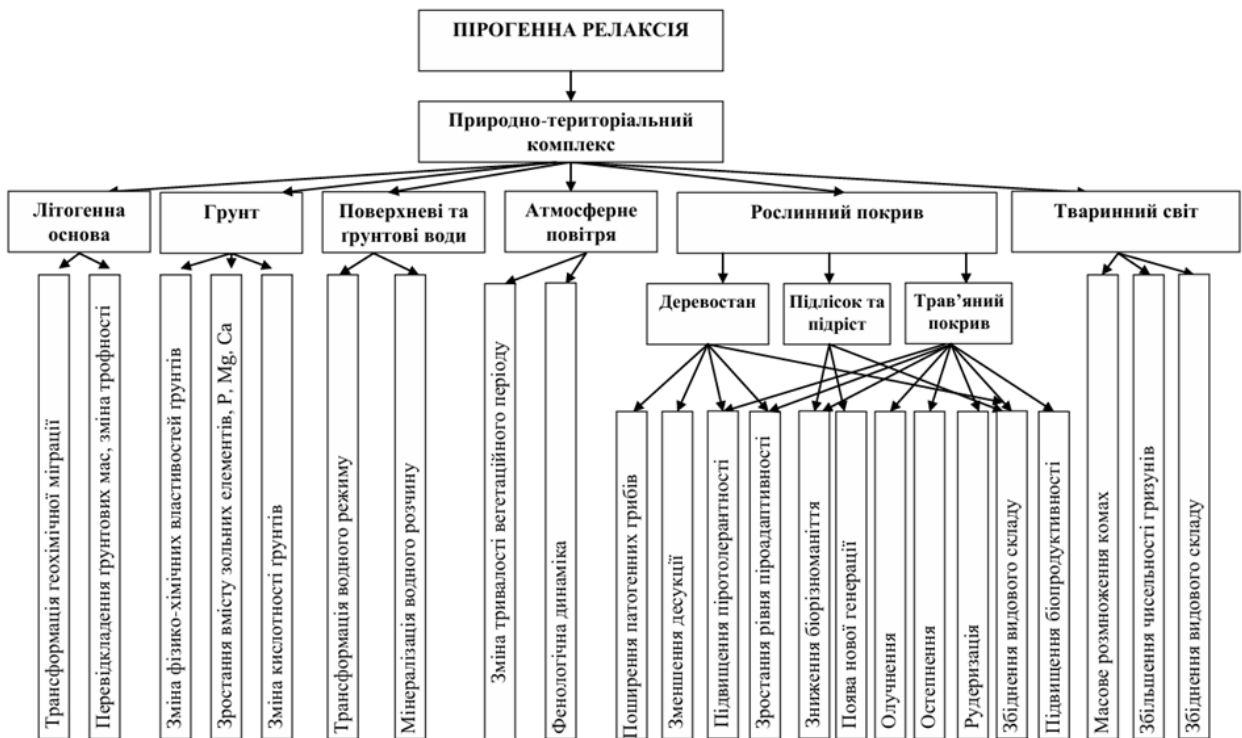


Рис. 1.2 – Постпірогенні процеси пірогенної релаксії [21]

Пожежі сприяють природному відбору рослин і тварин, які краще пристосовані до умов підвищеної температури або до періодичного впливу вогню. Такі види демонструють високий рівень піроадаптивності. Прикладом є австралійські евкаліптові ліси, де дерева розвинули вогнетривку кору й насіння, що проростає тільки після впливу високих температур. У Північній

Америці сосна Банкса (*Pinus banksiana*) має шишки, які розкриваються лише під дією тепла від пожеж. Опіки кори, які не зачіпають камбій, поступово формують калюс, а згодом кора відпадає, поступаючись місцем підсушині, яка може заростати протягом 50 років [37].

Серед тварин можна виділити різних комах, таких як жуки-короїди [20], які використовують згарища для розмноження [30]. Сильно пошкоджені дерева відмирають самостійно, без втручання шкідників.

У степових регіонах України пожежі навесні призводять до початку вегетації раніше, ніж зазвичай, оскільки видаляється сухий трав'яний покрив, а ґрунт прогрівається швидше [45]. У тропічних саванах Африки, де пожежі є звичним явищем, їхній вплив на рослинність також змінює сезонність росту трав. Зміни в екосистемах після пожеж призводять до зміщення фенологічних фаз, таких як час цвітіння, проростання насіння та досягання плодів, що може викликати асинхронність у взаємодії між рослинами та запилювачами.

Пожежі також створюють сприятливі умови для розмноження патогенних грибів. Пірогенна деградація соснових лісів здебільшого буває спричинена кореневою губкою (*Fomitopsis annosa*) та рициною хвилястою (*Rhizina undulata*), які викликають грибкові захворювання та гнилість коренів сосен. Наприклад, гриби роду *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* та *Alternaria* активно інфікують пошкоджену рослинність [37]. У тайгових екосистемах після пожеж спостерігається збільшення випадків грибкових захворювань серед уцілілих дерев. Відсутність конкуренції дозволяє грибам, як інвазійним видам, швидко поширюватися, що може негативно вплинути на відновлення екосистеми.

Поступове відновлення згарищ починається з появи рослин-піонерів, які першими колонізують нові або порушені території, такі як відкриті скелі, оголені ґрунти чи землі після людського втручання (наприклад, зруби чи кар'єри). Ці рослини є ключовими учасниками природних процесів сукцесії, оскільки вони створюють умови для зростання інших, більш вибагливих видів [31]. Піонерні види виживають у важких екологічних умовах,

проростають на бідних ґрунтах, в екстремальних температурах, при нестачі вологи та інших стресових факторів і мають здатність швидко поширюватися за рахунок перенесення легкого насіння вітром.

Рудеризація — це процес зміни рослинного покриву екосистеми, коли на територіях із порушеними природними умовами активно заселяються бур'яни та рослини-піонери. Термін походить від латинського слова «rudus», що означає «щебінь» або «руїни», оскільки такі рослини часто з'являються на місцях руйнування природного покриву — згарищах, покинутих землях, узбіччях доріг або на місцях людської діяльності (наприклад, на звалищах або промислових ділянках). Рудеральні рослини характеризуються швидким зростанням і розмноженням, стійкістю до несприятливих умов, витримуючи нестачу поживних речовин, посуху та механічні пошкодження. Їм притаманна тенденція до витіснення місцевих видів через швидке завоювання простору [25].

Прикладом рудеральних рослин є амброзія, будяк, лобода, кульбаба, спориш. У після пожежних умовах ці рослини можуть швидко колонізувати територію, створюючи новий екологічний стан, який не завжди сприяє поверненню до вихідного стану екосистеми [45].

Інвазивні види також відіграють важливу роль у постпірогенних процесах. Вони активно використовують відкриті території для свого поширення [28]. Завдяки втраті місцевої рослинності пожежі створюють ідеальні умови для колонізації інвазивних видів [24]. Такі рослини та тварини, що потрапляють у нові екосистеми, не мають природних ворогів, тому починають активно розмножуватися, витісняючи місцеві види. Це може значно змінити склад екосистеми, знижуючи її стабільність та здатність до самовідновлення. Таким чином, пожежі часто стають каталізатором для поширення інвазивних видів, що додає нових викликів для відновлення екологічного балансу.

Рослини-піонери сприяють відновленню екосистем, рудеральні види швидко займають порушені ділянки, а інвазивні рослини можуть завдавати

шкоди, витісняючи місцеві види. Ренатуралізація, природне відновлення екосистем, може тривати десятиліттями і включає відновлення зв'язків між компонентами екосистеми, таких як рослинність, ґрунти та гідрологічний режим.

Важливу роль у запобіганні поширенню пожеж відіграють превентивні заходи [44]. Одним із найефективніших рішень є створення так званих протипожежних бар'єрів, які служать механічними або природними перешкодами для вогню. Завдяки цьому можна локалізувати осередок займання та мінімізувати ризик розповсюдження полум'я на прилеглі території.

Протипожежний бар'єр — це ділянка території, яка перешкоджає розповсюдженню і розвитку лісових пожеж (мінералізовані смуги, протипожежні розриви, протипожежні заслони, пожежостійкі узлісся, протипожежні канали, ріки, озера, автомобільні дороги тощо) [41].



Рис. 1.3 – Мінералізована смуга в лісах Черкаській області [39]

Основну роль у боротьбі з пожежами відіграє швидкість реагування, адже мінімізація часу між виявленням пожежі та прийняттям рішень щодо її ліквідації, може врятувати не лише площі від займання, але й людські життя. При гасінні враховуються сила пожежі, швидкість її поширення, а також рівень пожежної небезпеки території. Велике значення мають такі аспекти, як

горючість матеріалів у лісі та природні границі, які можуть стримувати вогонь.

Процес гасіння великих пожеж відбувається поетапно. Спочатку проводиться розвідка, яка включає визначення меж пожежі, аналіз виду і сили горіння, а також прогнозування поширення вогню. На основі цих даних складається план локалізації пожежі та розробляються способи дій для її зупинки. Локалізація пожежі є найскладнішим етапом, що складається з двох частин. Спочатку зупиняється поширення вогню шляхом впливу на край пожежі, потім облаштовуються загороджувальні смуги та канави, які усувають ризик відновлення займання [44].

Локалізована пожежа — це та, навколо якої прокладені смуги, що виключають можливість її поновлення. Після локалізації проводиться ліквідація, яка полягає у дотушуванні вогнищ горіння. Останнім етапом є вартування згарища — систематичний огляд локалізованої території, особливо її кромки, щоб запобігти повторному займанню.

Для гасіння лісових пожеж застосовуються різні способи, такі як оточення пожежі, облаштування мінералізованих смуг, засипання кромки ґрунтом, гасіння водою або хімічними речовинами, штучне викликання опадів, а також використання зустрічного вогню для зупинки основного фронту пожежі [41].

У пожежонебезпечний період необхідно дотримуватися заходів безпеки, включаючи заборону на використання відкритого вогню, випалювання трави, розведення багать у хвойних молодняках, на торфовищах або в місцях із сухою рослинністю [32]. Важливо уникати залишення скляних предметів, які можуть фокусувати сонячне світло та спричинити пожежу [27].

1.2 Сучасні наукові проєкти та місії з моніторингу пожеж засобами дистанційного зондування Землі

Дистанційне зондування відіграє ключову роль у виявленні, моніторингу та аналізі активних пожеж, дозволяючи швидко і точно фіксувати їхню появу. Станом на 24 березня 2024 року на орбіті нашої планети знаходяться 11 976 супутників, які виконують свої місії [2]. 55% з яких знаходяться у низькій навколоземній орбіті. Такі супутники роблять оберт навколо планети приблизно за 2 години, що робить їх придатними не лише для комунікаційних місій, але й моніторингу територій.

23 липня 1972 року після того, як був запущений перший супутник Earth Resources Technology Satellite або ERTS-1 (пізніше Landsat 1) почалася нова ера дистанційного моніторингу Землі [13]. Супутники є цінним джерелом інформації для дослідників та фахівців у галузі моніторингу. Вони можуть спостерігати за великими площами, що дозволяє швидко виявляти гарячі точки навіть у віддалених регіонах, визначати масштаби пожеж, оцінювати вплив на екосистеми та проводити детальні дослідження для вдосконалення підходів до управління наслідками стихійних лих [16].

Окремо серед супутників можна виділити Copernicus Sentinel-5P, оснащений інструментом Tropomi, який дозволяє картографувати широкий спектр слідових газів (озон, чадний газ, формальдегід, діоксид азоту, діоксид сірки та метан). Використовуючи дані цього супутника, можна визначати концентрацію чадного газу в атмосфері, що різко збільшується внаслідок пожеж. Зібрані дані глобального моніторингу показали зростання кількості пожеж у серпні 2019 року: 79 000 випадків у порівнянні з 16 632 у серпні 2018 року. В серпні 2019 року над Сан-Паулу дим був настільки густим, що денне світло зникло, занурюючи місто в темряву [10].

GeoEye-1 — супутник запущений у 2008 році компанією Maxar. Він входить до групи супутників WorldView (WorldView-1,2,3,4 та WorldView-Legion) є частиною програми ESA Third Party Missions, що надає

дані для наукових досліджень. Здійснює зйомку з роздільною здатністю 41 см у панхроматичному режимі та 1,65 м у багатоспектральному, охоплюючи площу до 350,000 км² за добу. GeoEye-1 здатний збирати дані, які можна використовувати для створення 3D-зображень [5]. Ця можливість базується на високій роздільній здатності супутника та технології стереоскопічної зйомки, коли одне й те саме місце фотографується під різними кутами.

Програма Third Party Missions (TPM) надає доступ до даних супутників, які належать іншим організаціям, як державним, так і приватним. Ця програма діє вже понад 45 років і включає понад 50 місій, спрямованих на спостереження за Землею [12]. Дані використовуються для наукових досліджень, розробок і прикладних задач, таких як моніторинг довкілля, управління ризиками та картографування. TPM забезпечує зручний доступ до цих даних через єдину платформу Online Dissemination.



Рис. 1.4 – Online Dissemination server [4]

При дистанційному моніторингу Землі активно використовуються вегетаційні індекси, які характеризують рослинність у перед- та після пожежний період [7]. За різними джерелами кількість VI варюється від не менше 150 до більше за 500. Важко назвати кінцеву цифру, бо вона продовжує рости, не лише через вдосконалення методів досліджень, а і

сенсорів на супутниках. Ці інструменти з алгоритмами автоматичного аналізу, допомагають отримувати точні дані про масштаби пожеж та оцінювати їхній екологічний вплив [29].

Використання індексів таких як NDVI, MSAVI, SAVI та NBR, на базі спектральних каналів, дозволяє оцінювати рослинний покрив і площу вигорілих зон (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Характеристики спектральних індексів
для моніторингу пожеж [1, 18, 23, 26, 30, 42]

Назва індексу	Формула розрахунку	Ціль використання
NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Визначення зон з пошкодженою рослинністю після пожежі, оцінка ступеня деградації рослинного покриву.
MSAVI	$\frac{2 \cdot NIR + 1 - \sqrt{(2 \cdot NIR - 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2}$	Мінімізація впливу відбивної здатності ґрунту на аналіз рослинності, особливо в регіонах із низькою щільністю рослинного покриву після пожеж.
SAVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \cdot (1 + L)$	Аналіз рослинності в умовах, де ґрунт значно впливає на спектральні характеристики, наприклад, згарища.
GEMI	$\eta \cdot (1 - 0.25 \cdot \eta) - \frac{Red - 0.125}{1 - Red}$	Оцінка стану рослинності з урахуванням атмосферних впливів.
NBR	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	Виявлення зон, пошкоджених пожежами, оцінка інтенсивності та площі вигорілих територій.
BAIM mod	$\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$	Оцінка інтенсивності пожеж та визначення зон вигорілої рослинності.
MIRBI mod	$\frac{SWIR - MIR}{SWIR + MIR}$	Аналіз зон, пошкоджених пожежами, з використанням середньоінфрачервоного спектру.
MCARI	$[(Red\ Edge - Red) - 0.2 \cdot (Red\ Edge - Green)] \cdot \frac{Red\ Edge}{Red}$	Оцінка фотосинтетичної активності рослинності, що може бути знижена після пожеж.

Продовження таблиці 1.1

NDI45	$\frac{\text{Red Edge} - \text{Green}}{\text{Red Edge} + \text{Green}}$	Аналіз рослинності з акцентом на червоний край спектру.
RENDVI	$\frac{\text{Red Edge} - \text{Red}}{\text{Red Edge} + \text{Red}}$	Визначення стану рослинності з використанням червоного краю спектру, що допомагає виявити пошкодження.
GNDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{Green}}{\text{NIR} + \text{Green}}$	Оцінка стану рослинності з акцентом на зелений спектр.
NDII	$\frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$	Виявлення зон з водним стресом після пожеж.

*де NIR — ближнє інфрачервоне випромінювання;

Red — червоний спектр світла, що показує рівень фотосинтетичної активності рослинності;

MIR — середнє інфрачервоне випромінювання, яке допомагає оцінити стресові фактори рослинності, наприклад, під час пожеж;

SWIR — короткохвильове інфрачервоне випромінювання;

L — коригуючий фактор, введений для усунення впливу ґрунту на індекс (використовується у формулі SAVI). Значення L варіюється залежно від щільності рослинності.

Green — зелений спектр світла;

Red Edge — відображає діапазон між червоним і ближнім інфрачервоним спектрами;

η — складний параметр, що враховує нормалізовані співвідношення червоного спектру. Використовується в GEMI для врахування атмосферних впливів.

Сучасні наукові проекти та місії з моніторингу пожеж засобами дистанційного зондування Землі грають важливу роль у виявленні, аналізі та прогнозуванні пожеж, дозволяючи швидко реагувати на надзвичайні ситуації. Важливим досягненням у цій галузі є використання даних супутників, таких як Landsat, Sentinel, NOAA, Suomi NPP та інші. Дані, отримані із спектрорадиометрів MODIS та VIIRS, що встановлені на супутниках, дозволяють оперативно картувати осередки вогню, забезпечуючи точність у реальному часі [17]. Сучасні системи виявлення теплових аномалій, базуються на сенсорах, що аналізують різницю температур між ділянками активного вогню та сусідніми територіями. Якщо різниця перевищує

встановлений поріг, ділянка класифікується як «гаряча точка», тобто активна пожежа.

MODIS, сенсор розташований на супутниках TERRA та AQUA, має просторову роздільну здатність активного пікселя 1 км [8, 9]. Він відзначає великі пожежі, що значно гарячіші за навколишнє середовище.

Для виявлення менших пожеж або точнішого картування використовується сенсор VIIRS, встановлений на супутнику Suomi NPP, який має просторову роздільність у 375 метрів. Ця система не лише доповнює MODIS, а й дозволяє відслідковувати периметри великих пожеж із більшою деталізацією. Дані, зібрані цими системами, оновлюються шість разів на добу і стають доступними протягом кількох годин після отримання супутникових зображень. Проте точність визначення місця залежить від просторових можливостей сенсорів, і деякі пожежі залишаються невиявленими через їхній розмір або наявність диму чи хмар.

Для забезпечення більшої достовірності даних застосовуються алгоритми, які враховують тип земного покриття, відстань до міських територій і ступінь впевненості в гарячій точці. Також розглядаються альтернативні джерела інформації, наприклад, Fire News [11], що аналізує новинні стрічки та повідомлення, пов'язані з лісовими пожежами, для пошуку геолокалізованих новин.

NASA також пропонує широкий спектр інструментів та даних для дослідження лісових пожеж, їх причин і наслідків [14]. Ці ресурси спрямовані на підтримку наукових досліджень. Hazards Mapper інструмент для швидкого аналізу територій та об'єктів (населення, дамби, атомні електростанції) що можуть бути під загрозою різних природних катастроф, включаючи пожежі. Програмне забезпечення Panoply для побудови геоорієнтованих масивів даних у різних форматах, таких як netCDF, HDF, GRIB, та інші. Веб-додаток SDAT, який дозволяє візуалізувати та завантажувати просторові дані з різними параметрами. Інструмент TESViS для створення налаштованих підзон екологічних даних. Платформа VEDA

для аналізу, візуалізації та геообробки даних про Землю. Інтерактивний інструмент Worldview для перегляду понад 1200 супутникових шарів у високій роздільній здатності та завантаження відповідних даних [15].

Програма NASA Land-Atmosphere Near real-time Capability for Earth Observation (LANCE) створена для забезпечення доступу до даних дистанційного зондування в режимі майже реального часу (більшість доступні протягом трьох годин через Worldview). Вона підтримує користувачів, які займаються моніторингом природних явищ, таких як пожежі, урагани, повені, а також антропогенних впливів, допомагає у прогнозуванні погоди, моніторингу природних катастроф, оцінці якості повітря, управлінні сільським господарством та навіть у наданні допомоги під час стихійних лих. Дані: AIRS, AMSR2, ISS LIS, MISR, MLS, MODIS, MOPITT, OMI, OMPS і VIIRS, доступні через платформи, такі як EFFIS та FIRMS, дозволяють візуалізувати інформацію та аналізувати її [6, 8].

FIRMS (Fire Information for Resource Management System), розроблена NASA, є системою дистанційного зондування, яка збирає та аналізує з супутників MODIS та VIIRS. FIRMS є частиною програми NASA Land, Atmosphere Near real-time Ability for EO. Її головна перевага полягає в здатності забезпечувати інформацію про активний вогонь в режимі реального часу для США та Канади, інші регіони доступні кожні 3 години [8, 11]. Інтерактивна карта системи дозволяє візуалізувати гарячі точки по всьому світу, що робить її незамінним інструментом для оперативного реагування (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – FIRMS (Fire Information for Resource Management System) [11]

Окрім моніторингу, FIRMS надає можливість завантажувати дані у різних форматах SHP, KML, TXT, WMS для детальнішого аналізу [11]. Це дозволяє науковцям, менеджерам природних ресурсів або громадськості розробляти стратегії боротьби з пожежами, планувати відновлення лісів та мінімізувати екологічні втрати.

Європейська система моніторингу лісових пожеж — EFFIS — використовує ці дані для створення загального уявлення про поточні пожежі у Європі, допомагаючи картувати вигорілі зони та організовувати оперативну допомогу. Система підтримується мережею з 40 країн і функціонує під керівництвом Об'єднаного дослідницького центру (JRC) та Генерального директорату Європейської комісії з навколишнього середовища (DG ENV) [4]. Її мета — надавати рекомендації щодо попередження пожеж, а також дані у реальному часі для служб цивільного захисту.

За допомогою онлайн доступу сервісу Copernicus (рис. 1.6) можна отримати дані про лісові пожежі та їх перебіг, тобто дату початку і дату закінчення, площу вигорілих територій. Окрім того на скріншоті зеленими полігонами зазначено зони природоохоронних територій, що може полегшити дослідження направлені на ці об'єкти.

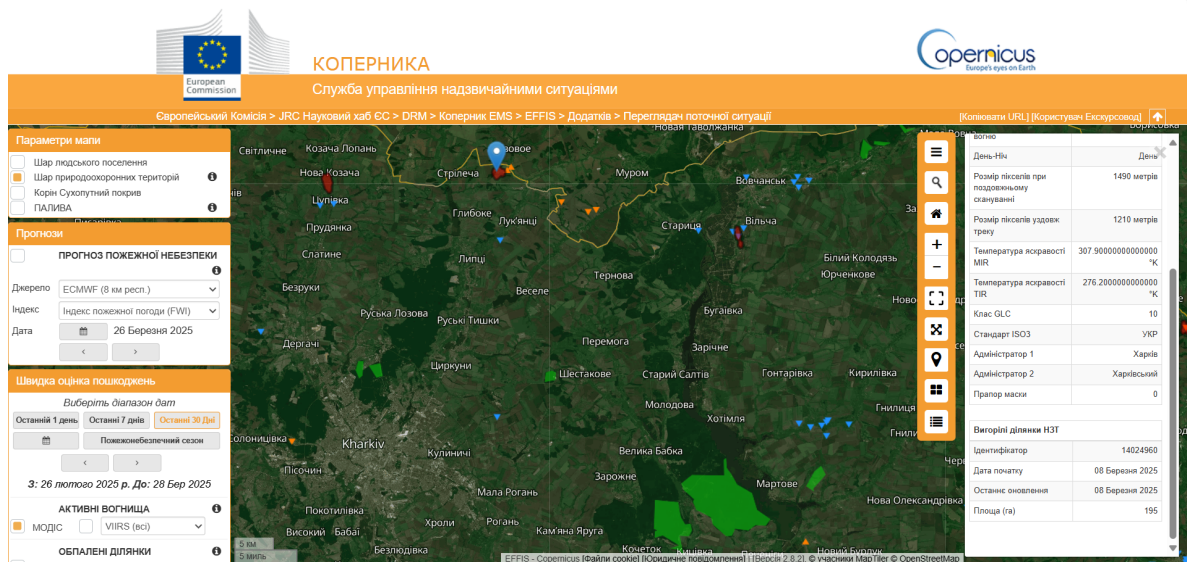


Рис. 1.6 – Copernicus Emergency Management Service [4]

То ж, дистанційне зондування стало незамінним інструментом для моніторингу пожеж. Незважаючи на певні неточності, дані зібрані супутниками продовжують допомагати з ліквідацією пожеж та їхніми наслідками. Удосконалення сенсорів супутників та дослідження спектрального діапазону є перспективним напрямком, велика кількість проєктів та місій поступово розвивають галузь дистанційного моніторингу Землі.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження ґрунтується на системному підході до аналізу просторово-часової динаміки пожеж та їх впливу на природно-заповідний фонд (ПЗФ) Харківської області та передбачало наступні етапи *обробки первинної бази даних та аналізу даних щодо вигорілих площ EFFIS у геоінформаційному середовищі*:

1. Підготовка первинних даних. На початковому етапі дослідження було сформовано топологічно коректний полігональний шар, що включав 17 об'єктів фізико-географічних районів Харківської області. Кожному району присвоєно унікальний ідентифікатор та поле з назвою, що полегшило подальший аналіз.

З платформи EFFIS джерел завантажено відкриті шейп-файли вигорілих площ для території Європи, які містять дані про координати, площі дати пожеж, тощо (рис.2.1).

ID	Shape	ID	FIREDATE	LASTUPDATE	COUNTRY	PROVINCE	COMMUNE	AREA	HA	BROAD	COM	MIXED	SCLEROPH	TRANSIT	OTHERNATL	AGRIARIS	ARTI	OTHERLC	PERCHAZK
61	Polygon	183782	2022-03-21 11:30:00	2022-03-24 07:13 53 501473	UA	N.A.	N.A.	84	0	0	33 3333333329749	0	0	0	61 2903225057920	5 376344006015724	0	0	0
62	Polygon	183784	2022-03-21 00:00:00	2022-03-24 07:17 14 55717	UA	N.A.	N.A.	12	0	0	66 66666666611111	0	0	0	33 333333333055556	0	0	0	0
63	Polygon	183121	2022-03-19 08:48:00	2022-03-24 07:19 25 528986	UA	N.A.	N.A.	104	0	0	55 3309505210899	0	0	0	32 038349514252	12 62159923208717	0	0	0
64	Polygon	183322	2022-03-19 10:20:00	2022-03-24 07:19 25 528986	UA	N.A.	N.A.	8	0	0	99 9999999995143	0	0	0	0	0	0	0	0
65	Polygon	183786	2022-03-20 09:17:00	2022-03-24 07:21 25 928259	UA	N.A.	N.A.	14	0	0	79 99999999946687	0	0	0	19 99999999906667	0	0	0	0
66	Polygon	184515	2022-03-22 09:32:00	2022-03-26 05 16 45 728615	UA	N.A.	N.A.	208	0	0	8 69565217369844	0	0	0	73 42995169078578	17 87439613525707	0	0	0
182	Polygon	189957	2022-03-18 11:19:00	2022-03-30 01 04 13 446172	UA	N.A.	N.A.	5	0	0	33 3333333327778	0	0	0	33 3333333327778	33 3333333327778	0	0	0
183	Polygon	189958	2022-03-13 09:00:00	2022-03-30 01 04 13 446172	UA	N.A.	N.A.	12	0	0	53 84615384573964	0	0	0	46 15384615349112	0	0	0	0
184	Polygon	190008	2022-03-22 22:33:00	2022-03-30 02 12 11 560053	UA	N.A.	N.A.	232	0	0	49 99999999997882	0	0	0	45 33898305082825	4 661016949105068	0	0	0
185	Polygon	190009	2022-03-24 23:37:00	2022-03-30 02 24 13 672077	UA	N.A.	N.A.	30	0	0	43 749999999963204	0	0	0	56 24999999996242	0	0	0	0
186	Polygon	190010	2022-03-19 10:20:00	2022-03-30 02 24 13 672077	UA	N.A.	N.A.	93	0	0	48 38709677414152	0	0	0	50 5376344686478	1 0752688172031448	0	0	0
187	Polygon	190011	2022-03-23 10:02:00	2022-03-30 02 24 13 672077	UA	N.A.	N.A.	15	0	0	52 941176470276815	0	0	0	23 529411764567477	23 529411764567477	0	0	0
207	Polygon	183785	2022-03-20 09:17:00	2022-03-31 14 30 52 185572	UA	N.A.	N.A.	348	0	56818	7 306363636361539	0	0	0	74 43181818179704	17 61363636363136	0	0	0
211	Polygon	182566	2022-03-10 00:00:00	2022-04-01 15 44 43 26691	UA	N.A.	N.A.	109	0	0	9 433862264142043	0	0	0	95 6603773576362	0	0	0	0
240	Polygon	190208	2022-03-29 08:25:00	2022-04-05 13 42 40 775116	UA	N.A.	N.A.	32	0	0	74 999999999978515	0	0	0	24 999999999990468	0	0	0	0
239	Polygon	190209	2022-03-29 09:49:00	2022-04-05 13 43 44 780461	UA	N.A.	N.A.	48	0	0	48 836178212681835	0	0	0	34 04255319141693	17 021278585708464	0	0	0
242	Polygon	190434	2022-03-23 09:00:00	2022-04-05 13 49 06 727283	UA	N.A.	N.A.	289	0	0	17 706333333327106	0	0	0	48 74999999997513	12 49999999999566	1 040	0	0
243	Polygon	193210	2022-03-23 10:02:00	2022-04-05 13 49 06 712596	UA	N.A.	N.A.	87	0	0	37 3134303333765205	0	0	0	55 22380569342466	7 4626865715304	0	0	0
241	Polygon	193212	2022-03-23 09:00:00	2022-04-05 13 51 43 817927	UA	N.A.	N.A.	14	0	0	38 461538461242604	0	0	0	61 53846153788816	0	0	0	0
244	Polygon	188891	2022-03-24 00:00:00	2022-04-05 13 53 46 230521	UA	N.A.	N.A.	17	0	0	47 058823529134955	0	0	0	52 941176470276815	0	0	0	0
245	Polygon	190370	2022-03-29 09:00:00	2022-04-05 13 55 27 401196	UA	N.A.	N.A.	41	0	0	34 881270930151426	0	0	0	62 7090971427258	2 325581395343429	0	0	0
246	Polygon	190368	2022-03-29 00:00:00	2022-04-05 13 55 54 111059	UA	N.A.	N.A.	15	0	0	48 15384615349112	0	0	0	7 68220789224852	0	0	0	0
247	Polygon	193215	2022-03-25 11:04:00	2022-04-05 13 56 20 259051	UA	N.A.	N.A.	17	0	0	66 66666666622221	0	0	0	33 333333333111106	0	0	0	0
248	Polygon	193216	2022-03-26 00:00:00	2022-04-05 13 57 51 481590	UA	N.A.	N.A.	13	0	0	66 66666666622221	0	0	0	33 333333333111106	0	0	0	0
249	Polygon	191601	2022-03-26 00:00:00	2022-04-05 13 58 57 212733	UA	N.A.	N.A.	47	0	0	20 833333333328993	0	0	0	49 999999999995834	29 16666666660559	0	0	0
250	Polygon	193224	2022-03-26 00:00:00	2022-04-05 14 01 22 115746	UA	N.A.	N.A.	11	0	0	49 999999999999	0	0	0	29 999999999999	19 999999999999	0	0	0
251	Polygon	193225	2022-03-26 22:22:00	2022-04-05 14 02 05 18652	UA	N.A.	N.A.	16	0	0	62 499999999995938	0	0	0	37 499999999976535	0	0	0	0
252	Polygon	193226	2022-03-25 11:04:00	2022-04-05 14 06 12 353872	UA	N.A.	N.A.	42	0	0	72 08302250546439	0	0	0	16 27908787464	11 627906876717144	0	0	0
256	Polygon	193232	2022-03-24 00:00:00	2022-04-05 14 09 13 215269	UA	N.A.	N.A.	17	0	0	27 77777777762346	0	0	0	72 222222221821	0	0	0	0
257	Polygon	193233	2022-03-24 00:00:00	2022-04-05 14 09 48 913718	UA	N.A.	N.A.	15	0	0	53 33333333297777	0	0	0	46 66666666635555	0	0	0	0
259	Polygon	193277	2022-03-20 08:30:00	2022-04-05 14 16 14 822109	UA	N.A.	N.A.	334	0	0	9 85748268653776	0	0	0	81 13402365072203	8 95522388080434	0	0	0
258	Polygon	193245	2022-03-20 00:00:00	2022-04-05 14 23 10 594107	UA	N.A.	N.A.	133	0	0	1 492537134317221	0	0	0	88 0597014924716	10 447761194022055	0	0	0
260	Polygon	193248	2022-03-20 00:00:00	2022-04-05 14 25 00 752049	UA	N.A.	N.A.	32	0	0	0	0	0	0	55 8023250410121	44 11764705889377	0	0	0
261	Polygon	189183	2022-03-26 00:00:00	2022-04-05 14 26 31 628922	UA	N.A.	N.A.	37	0	0	16 36363636360613	0	0	0	70 90909090909199	12 727272727249586	0	0	0
262	Polygon	193249	2022-03-24 11:23:00	2022-04-05 14 27 51 027862	UA	N.A.	N.A.	33	0	0	21 212121210564932	0	0	0	78 78787878784003	0	0	0	0
263	Polygon	193250	2022-03-25 05:50:00	2022-04-05 14 31 14 060706	UA	N.A.	N.A.	154	0	0	5 184805194801822	0	0	0	81 18883116877847	13 636363636364782	0	0	0
264	Polygon	193270	2022-03-24 00:00:00	2022-04-05 15 01 41 161675	UA	N.A.	N.A.	36	0	0	66 66666666640148	0	0	0	22 222222222260493	11 111111111000247	0	0	0
265	Polygon	193277	2022-03-20 08:30:00	2022-04-05 15 13 24 814309	UA	N.A.	N.A.	6	0	0	99 99999999957143	0	0	0	0	0	0	0	0
266	Polygon	193280	2022-03-24 00:00:00	2022-04-05 15 14 21 028864	UA	N.A.	N.A.	7	0	0	99 99999999957143	0	0	0	0	0	0	0	0
252	Polygon	193282	2022-04-01 11:23:00	2022-04-05 15 16 02 144382	UA	N.A.	N.A.	6	0	0	33 33333333277778	0	0	0	16 66666666638889	49 99999999916667	0	0	0
275	Polygon	193528	2022-03-24 08:54:00	2022-04-06 13 00 01 414956	UA	N.A.	N.A.	33	0	0	45 7142857141151	0	0	0	48 57142857128979	5 71428571428938	0	0	0
276	Polygon	193531	2022-03-31 10:41:00	2022-04-06 13 02 04 849654	UA	N.A.	N.A.	82	0	0	47 499999999994682	0	0	0	38 749999999996156	13 7499999999962812	0	0	0
277	Polygon	193537	2022-04-01 10:34:00	2022-04-06 13 05 54 727142	UA	N.A.	N.A.	38	0	0	94 73684210581384	0	0	0	2 631578947361496	2 631578947361496	0	0	0
311	Polygon	197123	2022-03-24 10:34:00	2022-04-11 09 34 54 964999	UA	N.A.	N.A.	10	0	0	54 54545454549588	0	0	0	18 181818181852893	27 272727272747934	0	0	0
142	Polygon	199707	2022-04-08 10:02:00	2022-04-20 12 33 23 714728	UA	N.A.	N.A.	122	0	52100	73 9915903568807	0	0	0	12 6054201678613	5 88252941171527	0	0	0
143	Polygon	199708	2022-04-08 10:02:00	2022-04-20 12 34 10 680534	UA	N.A.	N.A.	36	0	0	94 1176470584671	0	0	0	2 9411764705795846	2 9411764705795846	0	0	0
144	Polygon	199709	2022-04-08 00:00:00	2022-04-20 12 35 01 149657	UA	N.A.	N.A.	26	0	0	44 82758020674198	0	0	0	3 448275802057075	51 72413793085613	0	0	0
145	Polygon	199709	2022-04-07 09:00:00	2022-04-20 12 40 34 289921	UA	N.A.	N.A.	520	0	0	71 06796185912675	0	0	0	12 427184466017003	16 504054360020532	0	0	0
146	Polygon	199711	2022-03-26 09:24:00	2022-04-20 12 43 40 540145	UA	N.A.	N.A.	19	0	0	5 263564210526312584	0	0	0	0	26 31578947354571	0	0	0
147	Polygon	199713	2022-04-16 09:11:00	2022-04-20 12 44 23 9305	UA	N.A.	N.A.	5	0	0	99 99999999975	0	0	0	0	0	0	0	0
148	Polygon	199741	2022-04-02 09:13:00	2022-04-20 12 46 41 274726	UA	N.A.	N.A.	54	0	0	17 475121475121476	0	0	0	74 74747474747476	63 6363636361708	0	0	0

Рис. 2.1 – Фрагмент атрибутивної таблиці даних географічного шару EFFIS

Для зосередження на досліджуваному регіоні виконано операцію обрізки (Clip), що дозволило видалити зайві полігони за межами області та видалено записи, що виходять за межі періоду 2022–2025 рр.

2. Геопросторова трансформація та валідація. Оскільки відкриті дані шейп-файлів, які використовувались у дослідженні могли мати різні системи координат, проведено трансформацію проекції до єдиного стандарту WGS 84 за допомогою інструменту «Reproject Layer» у QGIS. Це забезпечило точність просторового накладання шарів. Для усунення потенційних помилок виконано перевірку геометрії полігонів (Check Validity), що дозволило ідентифікувати та виправити накладання, розриви чи самоперетини.

3. Розрахунок площ вигорання. Початкові дані EFFIS містили інформацію про площі у гектарах, але після операції перетину з шарами фізико-географічних районів ці значення потребували оновлення. Для розрахунку використано «Калькулятор полів» у QGIS з формулою:

$$\text{area}(\$geometry) / 10000$$

де $\text{area}(\$geometry)$ визначає площу полігону в м², а ділення на 10 000 конвертує її в гектари.

Результати збережено у новому полі атрибутивної таблиці з типом даних ціле число.

4. Інтеграція даних та просторовий аналіз. Для виявлення зв'язку між пожежами та фізико-географічними умовами виконано просторове накладання (Intersect) шарів вигорілих площ із межами районів. У ArcGIS застосовано інструмент Spatial Join, що дозволило автоматично зв'язати атрибути (наприклад, назви районів, кількість пожеж) з геометрією. Для візуалізації результатів укладено 5 картографічних творів (розподіл пожеж за роками, «гарячих ареалів» з використанням ядерної оцінки щільності (Kernel Density), які включають такі елементи карт: картографічне зображення, масштаб, легенду, орієнтирну стрілку.

5. Створення кадастру постраждалих об'єктів ПЗФ. За допомогою інструменту Intersect у ArcGIS виявлено 53 об'єкти природно-заповідного фонду, що перетинаються з зонами пожеж.

6. Статистична обробка та візуалізація. Редактор електронних таблиць Excel використовувався для аналізу створених у геоінформаційних системах реляційних баз даних, що містять кількісну інформацію про пожежі, а також площі вигорілих територій за окремими роками, їх розподіл за фізико-географічними регіонами. В програмі були виконані базові статистичні розрахунки, що дозволило отримати порівняльні показники та виявити суттєві зміни в часі. У програмі також було створено репрезентативні графіки для подальшого аналізу та інтерпретації цієї інформації.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Аналіз динаміки кількості осередків пожеж на території Харківської області у 2022-2025 рр. за даними FIRMS

На рис. 3.1 подано графік динаміки осередків пожеж в Харківській області, що демонструє щоденну кількість вогнищ пожеж у період з 6 травня 2022 року до 5 травня 2025 року за даними програми супутникових спостережень NASA FIRMS.

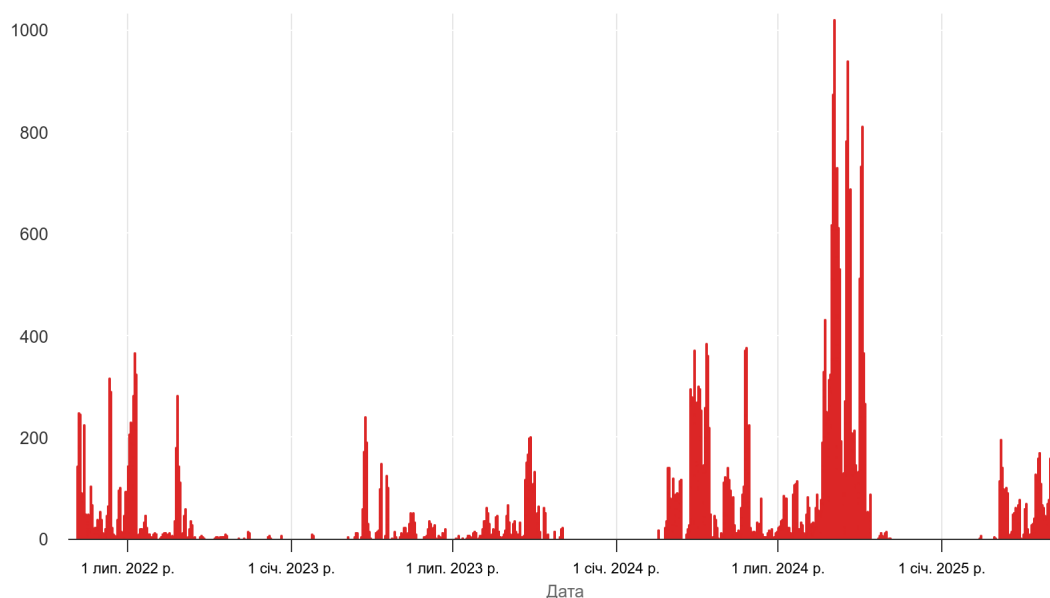


Рис. 3.1 – Кількість пожеж в Харківській області за даними FIRMS [38]

Як бачимо з рисунку, кількість пожеж зростає протягом теплого періоду року, особливо в літні місяці з березня по вересень. Літній період традиційно є критичним для пожеж через високу температуру, низьку вологість і сильні вітри, які сприяють поширенню вогню. Окрім кліматичних умов, ситуація в Харківській області значною мірою залежить від екзогенних факторів, таких як погодні умови, вплив антропогенних чинників (зокрема, військових дій).

Пік пожежної активності у 2022 році припав на червень-липень, що характерно для літнього періоду. В цей час спостерігався значний рівень загорянь, але максимальна відмітка не перевищила 400 випадків на добу. Найбільш інтенсивний спалах, 368 пожеж, зафіксовано 9 липня. Висока активність у цей період може бути пов'язана зі спекотною та сухою погодою, а також із наслідками бойових дій. Восени кількість пожеж помітно зменшилася. Вірогідною причиною такого зниження є завершення пожежонебезпечного сезону, зниження температур та збільшення вологості. У період з 22 вересня 2022 року по 16 березня 2023 року на графіку зафіксована невелика кількість осередків пожежі, що вирізняє його серед інших періодів мінімальної пожежної активності.

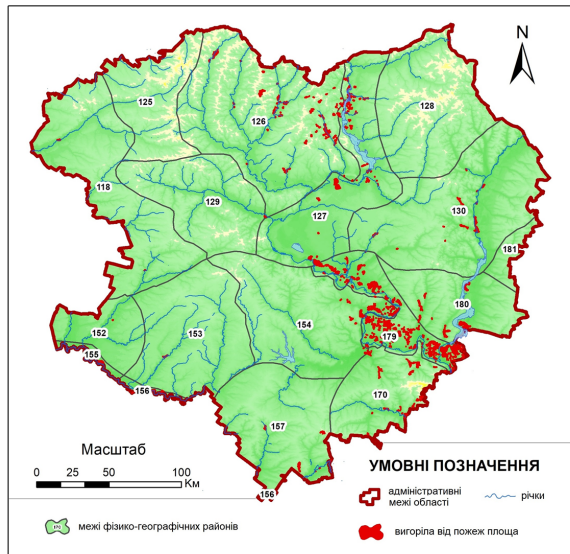
У 2023 році інтенсивність загорянь була мінімальною порівняно з іншими роками у досліджуваний період. Незначні хвилі сплесків спостерігалися у березні, квітні та вересні, але вони не досягали критичних значень порівняно з іншими роками. Найбільший пік у 2023 році, 241 випадок, відзначено 25 березня.

Найбільш небезпечна ситуація спостерігалася у вересні 2024 року. Абсолютний максимум загорянь зафіксовано 2 вересня, 1 022 випадки. Надзвичайно висока кількість пожеж також відзначена 17 вересня та 3 жовтня, 940 та 811 спалахів відповідно. Причинами різкого збільшення можуть бути як екстремально посушливі погодні умови, так і військовий конфлікт, що призвів до значного поширення пожеж. Починаючи з кінця жовтня, кількість загорянь скоротилася до 5 випадків (23.10.2024), що засвідчило закінчення пожежонебезпечного сезону.

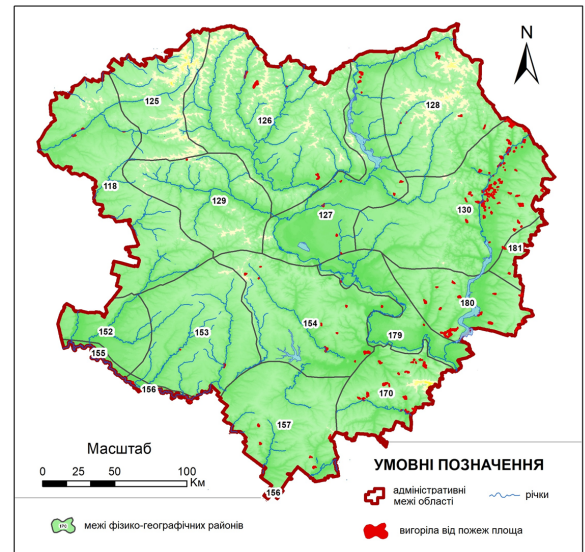
Щодо 2025 року, то найбільшу кількість осередків пожеж зафіксовано 5 травня 2025 року зафіксовано – 283 активні пожежі. Хоча цей рівень значно нижчий, ніж у вересні 2024 року, він може бути свідченням про сезонне зростання активності загорянь, пов'язане зі зміною кліматичних умов та потенційними факторами ризику. Пожежна активність у цьому році демонструє тенденцію до зростання у порівнянні з 2023 та 2022 роками.

3.2 Аналіз динаміки кількості осередків пожеж та вигорілих площ на території Харківської області у 2022-2025 рр. за даними EFFIS

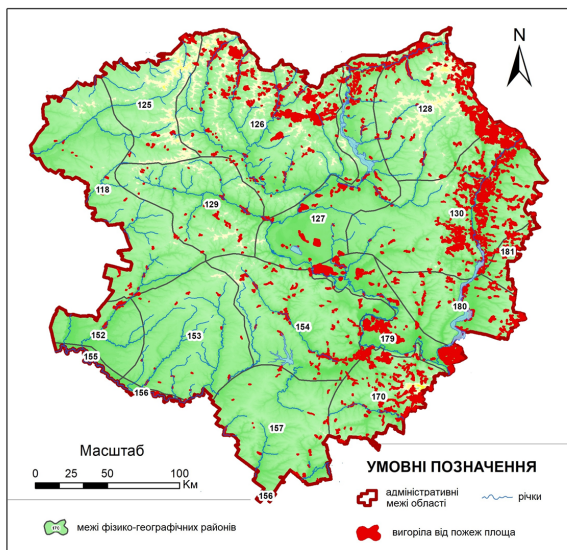
Аналіз бази даних EFFIS показав, що вогнища найчастіше виникали у певних фізико-географічних районах. Цю закономірність детально відображено на рис. 3.2, де чітко видно зони їх максимальної концентрації.



а) 2022 рік



б) 2023 рік



в) 2024 рік



г) 2025 рік (січень-квітень)

Рис. 3.2 – Просторова локалізація пожеж в межах фізико-географічних районах Харківської області у 2022-2025 рр.

Загалом, у період 2022–2025 рр. у межах Харківської області ідентифіковано значну кількість пожеж та зафіксовано відповідні вигорілі площі, які охоплюють як Лісостепову, так і Степову зони Східноєвропейської рівнини. Загальна кількість зареєстрованих пожеж — 2 646 випадків, а сумарна вигоріла площа за цей період становить 183 833 га.

Загальна кількість виявлених EFFIS осередків пожеж у Харківській області за 2022–2025 рр. демонструє значні коливання за роками, що наочно ілюструє графік їх розподілу (рис. 3.3).

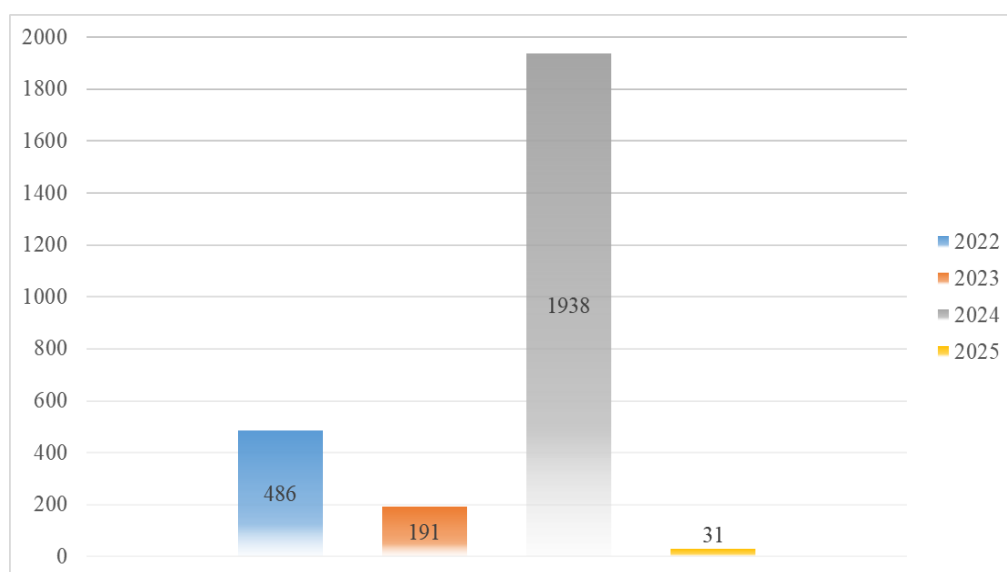


Рис. 3.3 – Сумарна кількість осередків пожеж у Харківській області у 2022-2025 рр.

У 2022 році було зафіксовано 486 пожеж, що відображає високий рівень пожежної небезпеки на тлі активних бойових дій в регіоні. У 2023 році кількість пожеж значно зменшилась до 191 випадку, проте в 2024 році зареєстровано різке зростання до 1938 пожеж, що становить майже десятикратне збільшення порівняно з попереднім роком. Важливо врахувати, що дані за 2025 рік охоплюють лише період січень-квітень (31 випадок), тому без урахування сезонних факторів пряме порівняння з попередніми роками є недоречним. Однак навіть за чотири місяці цього року зафіксовано значно меншу кількість пожеж порівняно з аналогічними періодами минулих років.

Аналіз розподілу осередків пожеж за фізико-географічними районами області (табл. 3.1) виявив значні територіальні відмінності у кількості пожеж за 2022–2025 роки.

Таблиця 3.1

**Розподіл кількості пожеж за фізико-географічними районами
Харківської області у 2022–2025 рр.**

№	Назва фізико-географічного району	2022	2023	2024	2025	Разом за період
СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКА РІВНИНА						
<u>Лісостепова зона</u>						
Лівобережно-Дніпровський край						
Східнополтавська височинна область						
1	Краснокутсько-Карлівський (118)	2	3	33	0	38
Східноукраїнський край						
Харківська схилово-височинна область						
2	Богодухівсько-Старомерчицький (125)	0	0	26	0	26
3	Золочівсько-Чугуївський (126)	68	4	291	4	367
4	Лимансько-Вовчанський (127)	63	11	193	1	268
5	Білоколодязько-Великобурлуцький (128)	0	5	139	0	144
6	Білоколодязько-Великобурлуцький (129)	1	1	48	0	50
7	Куп'янсько-Дворічанський (130)	16	105	605	20	746
<u>Степова зона</u>						
<u>Північно-степова підзона</u>						
Лівобережнодніпровсько-Приазовський край						
Орільсько-Самарська низовинна область						
8	Зачепилівсько-Красноградський (152)	2	0	12	0	14
9	Кечигівсько-Сахнівщинський (153)	2	2	18	0	22
10	Верхньоберецький (154)	40	11	110	0	161
11	Магдалинівсько-Перещепинський (155)	1	0	2	0	3
12	Нижньотернівський (156)	3	4	4	0	11
13	Верхньотернівсько-Бритаїський (157)	6	5	25	2	38
Донецький край						
Західнодонецька схилово-височинна область						
14	Барвінківсько-Новодонецький (170)	27	20	189	4	240
Задонецько-Донський край						
Старобільська схилово-височинна область						
15	Балаклійсько-Руженський (179)	244	2	80	0	326
16	Куньєвсько-Борівський (180)	11	16	106	0	133
17	Сватівсько-Новоайдарський (181)	0	2	57	0	59
Всього		486	191	1938	31	2646

Динаміка кількості осередків пожеж за 2022–2025 рр. демонструє помітні закономірності пожежної активності за роками відповідно на територіях фізико-географічних районів в межах області, що наочно відображено на графіку (рис. 3.3)

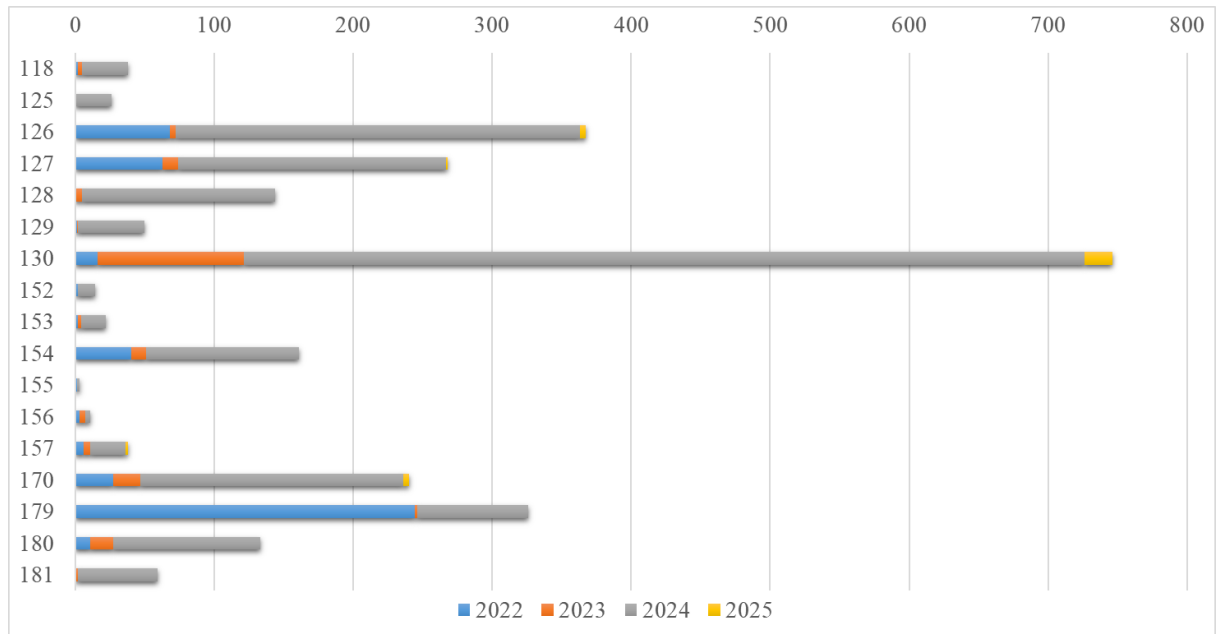


Рис. 3.3 – Динаміка кількості осередків пожеж за фізико-географічними районами Харківської області у 2022-2025 рр (номери відповідають назвам фізико-географічних районів з табл. 3.1)

Найбільш постраждалим виявився Куп'янсько-Дворічанський район (130), де зареєстровано 746 пожеж, що становить 28% від загальнообласного показника. Особливо критичною була ситуація у 2024 році, коли тут сталося 605 пожеж. Сумарні показники Золочівсько-Чугуївського (126) та Лимансько-Вовчанського (127) районів також виявились високими - 367 та 268 пожеж відповідно, з максимальною активністю у 2024 році.

Балаклійсько-Руженський район (179) демонструє цікаву динаміку: у 2022 році тут зафіксовано 244 пожежі, що було найвищим показником області, проте вже у 2023 році їх кількість різко впала до 2. Білоколодязько-Великобурлуцькі райони (128, 129) показали різкий зріст

активності у 2024 році - 139 та 48 пожеж відповідно, після мінімальних показників попередніх років.

Степова зона відзначилась відносно низькою пожежною активністю. Сумарно за чотири роки тут зареєстровано лише 50 випадків, з яких найменше - у Магдалинівсько-Перещепинському районі (155) - всього 3 пожежі. Це може бути пов'язано з відсутністю значних лісових масивів та меншою інтенсивністю бойових дій у цих районах.

2024 рік став найкритичнішим для більшості районів області. Наприклад, у Куп'янсько-Дворічанському районі на цей рік припадає 81% усіх пожеж за досліджуваний період. Загалом, отримані дані чітко демонструють зв'язок між пожежною активністю та інтенсивністю бойових дій у різних районах області.

Розподіл загальної кількості пожеж за фізико-географічними районами виявив чітку залежність від географічного положення району та інтенсивності бойових дій на його території (рис. 3.4).

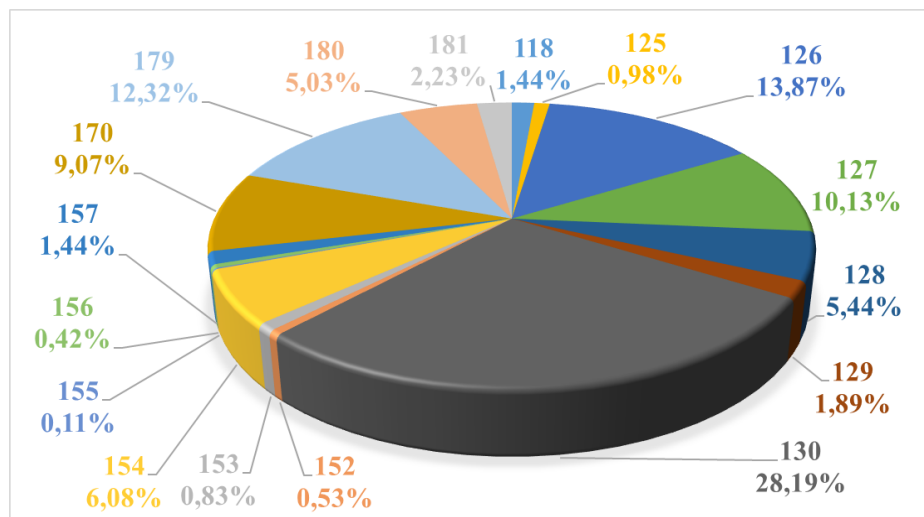


Рис. 3.4 – Розподіл сумарної кількості вигорілих ділянок у фізико-географічних районах Харківської області у 2022-2025 рр.

Аналіз вигорілих площ за період 2022–2025 рр. виявив суттєві територіальні відмінності їх поширення у фізико-географічних районах області, що детально відображено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

**Розподіл вигорілих площ за фізико-географічними районами
Харківської області у 2022–2025 рр.**

№	Назва району	2022	2023	2024	2025	Разом
СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКА РІВНИНА						
<u>Лісостепова зона</u>						
Лівобережно-Дніпровський край						
Східнополтавська височинна область						
1	Краснокутсько-Карлівський (118)	90	108	968	0	1166
Східноукраїнський край						
Харківська схилово-височинна область						
2	Богодухівсько-Старомерчицький (125)	0	0	1647	0	1647
3	Золочівсько-Чугуївський (126)	2959	579	22939	190	26667
4	Лимансько-Вовчанський (127)	2854	332	10332	41	13559
5	Білоколодязько-Великобурлуцький (128)	0	304	19346	0	19650
6	Білоколодязько-Великобурлуцький (129)	10	15	2008	0	2033
7	Куп'янсько-Дворічанський (130)	1031	3093	37008	1526	42658
<u>Степова зона</u>						
<u>Північно-степова підзона</u>						
Лівобережнодніпровсько-Приазовський край						
Орільсько-Самарська низовинна область						
8	Зачепилівсько-Красноградський (152)	15	0	1213	0	1228
9	Кечигівсько-Сахнівщинський (153)	86	71	610	0	767
10	Верхньоберецький (154)	1749	557	6954	0	9260
11	Магдалинівсько-Перещепинський (155)	208	0	20	0	228
12	Нижньотернівський (156)	76	60	372	0	508
13	Верхньотернівсько-Бритаїський (157)	513	295	1301	119	2228
Донецький край						
Західнодонецька схилово-височинна область						
14	Барвінківсько-Новодонецький (170)	1632	1389	13459	33	16513
Задонецько-Донський край						
Старобільська схилово-височинна область						
15	Балаклійсько-Руженський (179)	10568	29	21369	0	31966
16	Куньєвсько-Борівський (180)	1848	1563	8013	0	11424
17	Сватівсько-Новоайдарський (181)	0	76	2255	0	2331
Всього		23639	8471	149814	1909	183833

На рис. 3.5 представлено динаміку сумарної вигорілої площі за роками на території всієї Харківської області.

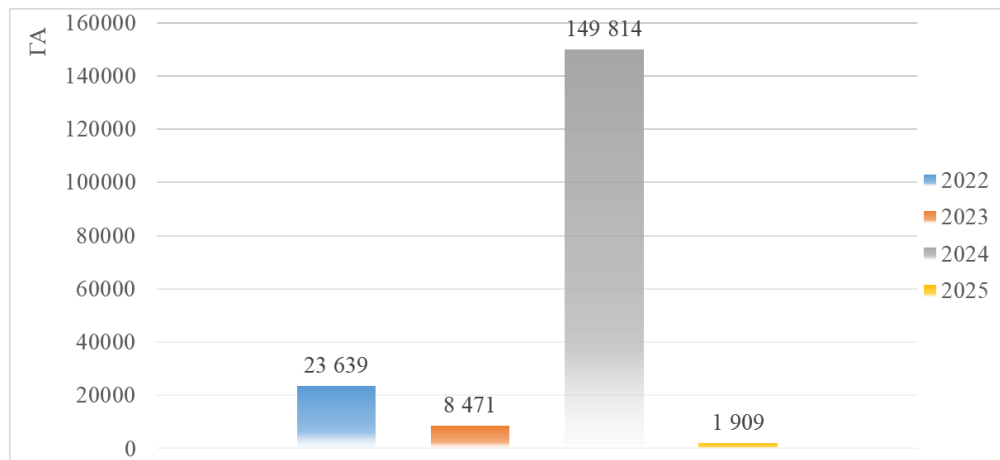


Рис. 3.5 – Сумарна площа осередків пожеж в чотирирічному окресі в Харківській області

За результатами дослідження встановлено, що протягом 2022-2025 років на території Харківської області зафіксовано вигорання 183 833 га природних та антропогенних ландшафтів. Аналіз динаміки за роками виявив суттєві коливання показників. У 2022 році площа вигорінь склала 23 639 га (12,9% від загального обсягу). Наступного, 2023 року, спостерігалось зниження цього показника до 8 471 га (4,6%). Найкритичнішою за площами вигорінь став 2024 рік, коли зафіксовано рекордні 149 814 га (81,5% від загального обсягу). За неповними даними за період січень-квітень 2025 року площа вигорінь склала 1 909 га (1% від загального обсягу).

Розподіл вигоріл площ ландшафтів за фізико-географічними районами та роками виявив суттєві просторово-часові диспропорції (рис.3.6). В цілому, наведені дані географічного розподілу вигорілих від пожеж площ показують зв'язок між масштабами пожеж та комплексом факторів кліматичних умов та інтенсивності бойових дій.

Найбільш постраждалими виявилися північно-східні райони, які перебували у зоні активних бойових дій.

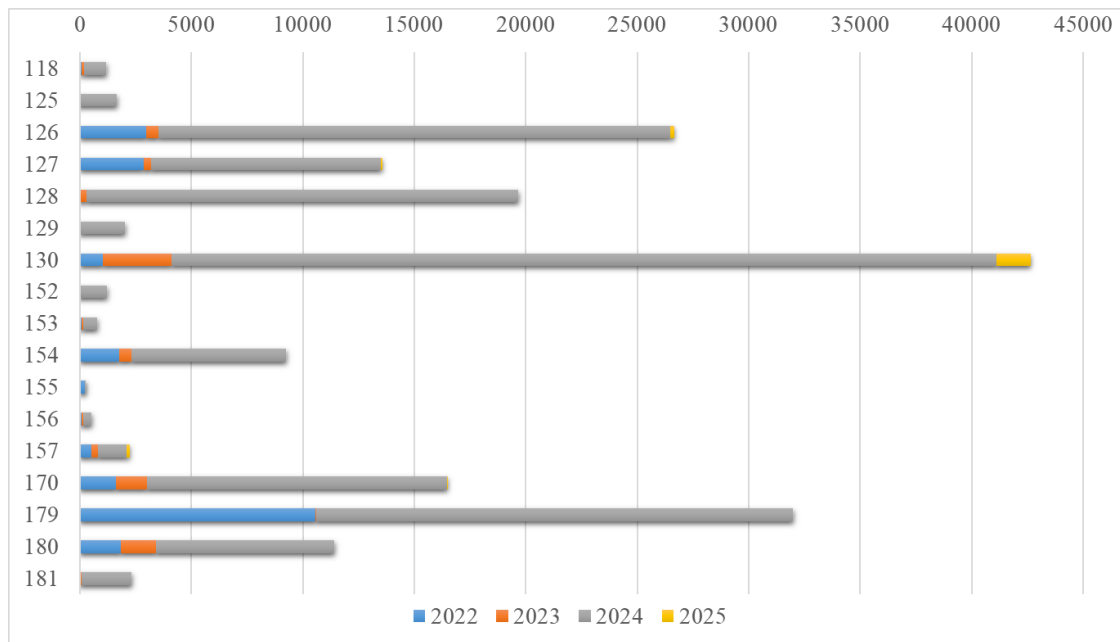


Рис. 3.6 – Динаміка площі осередків пожеж у фізико-географічних районах в межах Харківської області з 2022 по 2025 рр.

Лісостепова зона, особливо прикордонні райони, перетворилася на зону найвищого ризику через поєднання природних чинників (посуха, вітри) та антропогенних (руйнування, мінування). Так, Куп'янсько-Дворічанський район (130) втратив 42 658 га (23,2% від загального обсягу), з яких 37 008 га припало на найбільш посушливий та спекотний 2024 рік. У Золочівсько-Чугуївському (126) та Балаклійсько-Руженському (179) районах площа вигорілих ділянок становить 26 667 га та 31 966 га відповідно, із найбільшою часткою показників у 2024 році. Фізико-географічні райони степової зони (райони 152–157), навпроти, зазнали мінімальних втрат: Магдалинівсько-Перещепинський (155) – 228 га, Нижньотернівський (156) – 508 га за всі чотири роки.

Ключовими причинами таких диспропорцій є географічний фактор, ландшафтні особливості та антропогенний вплив. Північно-східні райони, де відбувалися найактивніші бойові дії, зазнали масових пожеж, вочевидь, головним чином через обстріли, мінування та руйнування інфраструктури. Лісостепові зони з густою рослинністю (наприклад, райони 126, 127), імовірно, горіли інтенсивніше через наявність великих запасів горючих

матеріалів, тоді як степові райони, позбавлені масштабних лісових масивів, залишалися відносно стабільними. Водночас антропогенний фактор, зокрема безпосередній вплив бойових дій, став чи не вирішальним у формуванні пожежної динаміки.

Сумарна площа вигорілих ділянок у межах фізико-географічних районів Харківської області за 2022–2025 рр. становить 183 833 га, проте її розподіл між районами є надзвичайно нерівномірним (рис.3.7).

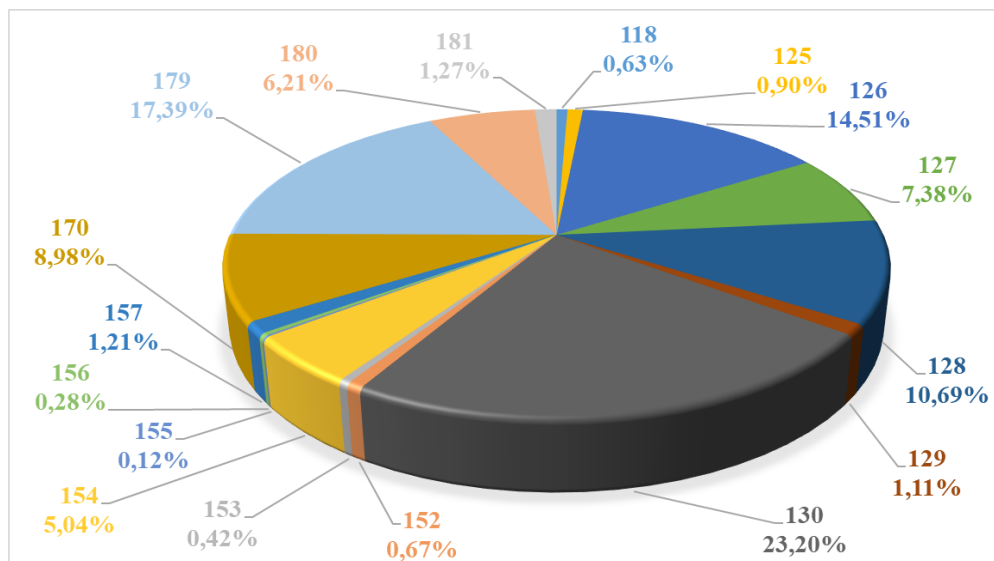


Рис. 3.7 – Розподіл сумарної площі вигорілих ділянок внаслідок пожеж в межах фізико-географічних районів Харківської області у 2022-2025 рр.

Ця диспропорція обумовлена поєднанням кліматичних, ландшафтних та антропогенних чинників, зокрема інтенсивністю бойових дій, щільністю рослинності та наявністю горючих матеріалів.

Північно-східні райони посіли лідируючі позиції за обсягами втрат: Куп'янсько-Дворічанський район (130) – 42 658 га (23,2% від загальної площі), Балаклійсько-Руженський район (179) – 31 966 га (17,4%) та Золочівсько-Чугуївський район (126) – 26 667 га (14,5%). Як правило, ці райони, які протягом 2022–2024 рр. перебували у зоні найактивніших бойових дій, тож, крім безпосереднього впливу кліматичних умов, зазнавали катастрофічного руйнування екосистем через обстріли, мінування та підпали.

Фізико-географічні райони степової зони (райони 152–157) мають найнижчі частки (наприклад, Магдалинівсько-Перещепинський (155) – 0,1%, Нижньотернівський (156) – 0,3%), що пояснюється відсутністю масштабних лісових масивів, меншою інтенсивністю бойових дій.

3.3 Ареали з високою інтенсивністю пожеж у зоні активних бойових дій на території Харківської області

На підставі аналізу даних системи EFFIS щодо пожеж на території Харківської області за період 2022–2025 рр. було проведено просторово-часову ідентифікацію зон підвищеної пожежної активності. За допомогою методів просторового аналізу векторних даних (ядерна оцінка щільності – «Kernel Density Estimation») виокремлено локалізовані аномалії інтенсивності пожеж. Отримані результати дозволили візуалізувати просторову кореляцію між епіцентрами пожежних подій та зонами активних бойових дій, що вказує на істотний антропогенний компонент у формуванні пожежних патернів за умов збройного конфлікту (рис. 3.8).

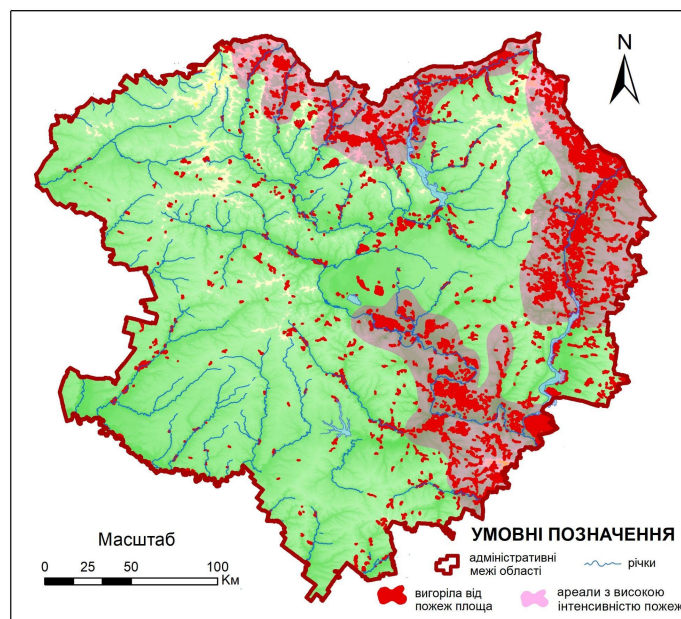


Рис. 3.8 – Ареали високої інтенсивності пожеж, що корелюють із зонами бойових дій у Харківській області у 2022-2025 рр.

Зокрема, було ідентифіковано три локалізовані ареали: північний, східний та південно-східний, де спостерігається критичне поєднання високої пожежної активності з інтенсивністю бойових дій.

Виявлені північний, східний та південно-східний ареали з критичною інтенсивністю пожеж потребують поглибленого аналізу для виявлення механізмів взаємодії між бойовими діями, ландшафтними особливостями та кліматичними умовами. Ці ареали становлять значний інтерес як тестові території для подальших досліджень з боку можливості поглибленого аналізу для виявлення механізмів взаємодії між бойовими діями, ландшафтними особливостями та кліматичними умовами для розробки стратегій адаптації та управління ризиками в умовах гібридних загроз.

3.4 Заповідні об'єкти Харківської області, на території яких зафіксовані пожежі у 2022-2025 рр

Для виявлення впливу пожеж на об'єкти природно-заповідного фонду Харківщини за досліджуваний період проведено геоінформаційний аналіз просторового перетину («Intersect») векторних геоданих осередків пожеж та заповідних об'єктів у програмному середовищі ArcGIS.

Загалом, ідентифіковано 53 заповідних об'єкти, на території яких за даними EFFIS зареєстровано пожежі. За результатами аналізу укладено табл. 3.3, що містить їх систематизований перелік відповідно до категорій заповідання, а також картографічний твір (рис. 3.9), який дозволяє скласти уявлення про місце розташування цих об'єктів.

Таким чином, за період 2022–2025 рр. на території Харківської області безпосереднього впливу пожеж зазнало 21,5% від загальної кількості заповідних об'єктів.

У кількісному відношенні (близько 78%) найчастіше зазнавали впливу пожеж саме заказники – найбільш поширеніша категорія серед заповідних об'єктів Харківщини.

Серед великих за площею заповідних територій – руйнівного впливу зазнали 5 регіональних парків та один з трьох національних парків області. Наприклад, регіональні ландшафтні парки «Печенізьке поле» та «Великобурлуцький степ», внаслідок пожеж втратили частину унікальних ландшафтних комплексів, а систематичні пожежі в національному парку «Дворічанський», що фактично розташовується тривалий час на лінії бойового зіткнення, загрожують масштабним порушенням його унікальних заповідних екосистем.

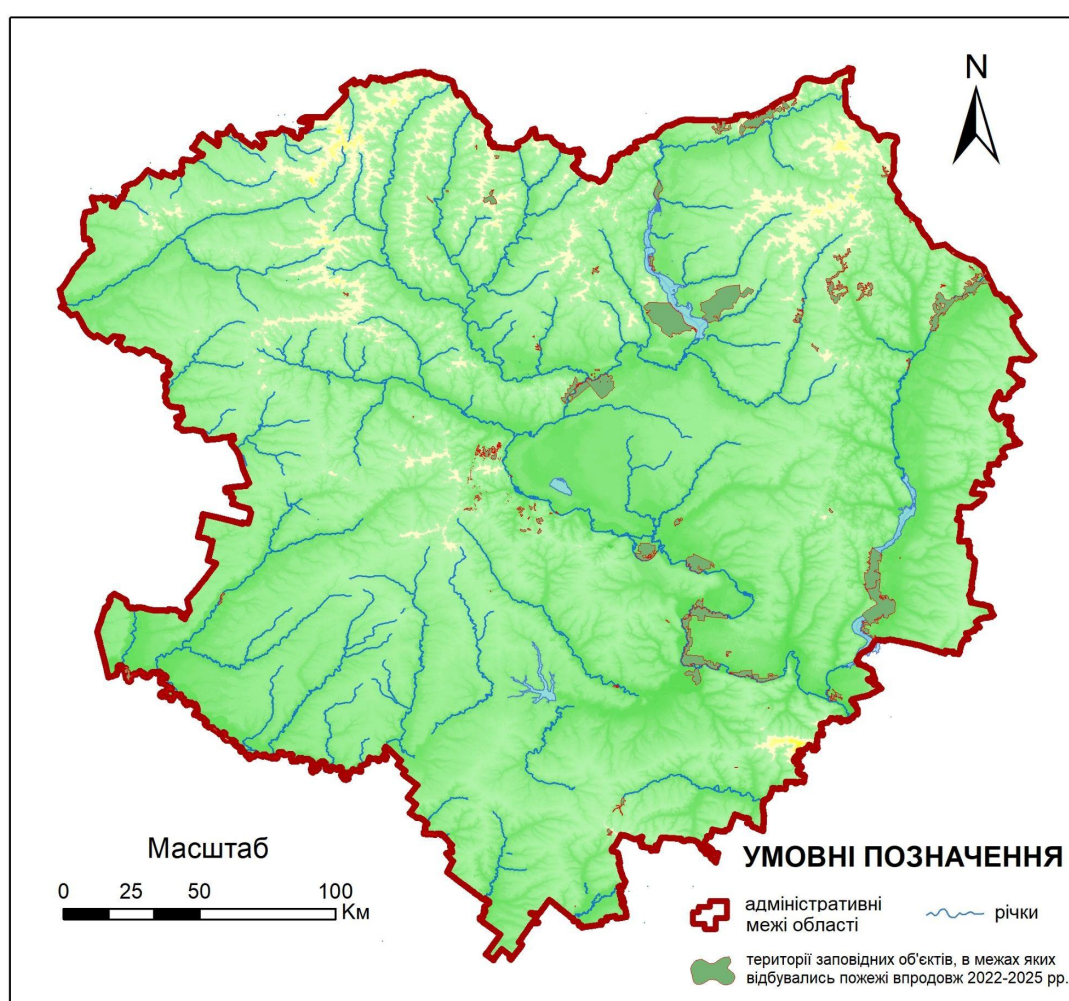


Рис. 3.9 – Просторове розподілення заповідних об'єктів Харківської області, уражених пожежами у 2022-2025 рр.

Таблиця 3.3

Перелік об'єктів природно-заповідного фонду Харківської області із зафіксованими пожежами (2022–2025 рр.) за категоріями заповідання

№	Назва заповідного об'єкту	
Національні природні парки		
1	«Дворічанський»	
Регіональні ландшафтні парки		
2	«Парк дикої природи "Ольхова балка"»	4 «Печенізьке поле»
		5 «Ізюмська лука»
3	«Червонооскільський»	6 «Великобурлуцький степ»
Заказники		
<u>ботанічні:</u>		
7	«Артільницький»	14 «Конопляне»
8	«Зелений гай»	15 «Коробочкине»
9	«Ковиловий степ»	16 «Крейдяний»
10	«Міловський»	17 «Кудіївський»
11	«Рязанова балка»	18 «Личане»
12	«Бугаївський»	19 «Слатінський»
13	«Бурбулатівський»	20 «Цибівський»
<u>гідрологічні:</u>		
21	«Вітрівський»	24 «Мерчицький»
22	«Графський»	25 «Орільський»
23	«Дмитрівський»	26 «Семенівський»
<u>ентомологічні:</u>		
27	«Варварівський»	32 «Ново-Платонівський»
28	«Великоярузький»	33 «Осинник»
29	«Запилювач»	34 «Парижанський»
30	«Криничанський»	35 «Строївський»
31	«Кукилівський»	36 «Чабанне»
<u>ландшафтні:</u>		
37	«Приорільський»	43 «Печенізька лісова дача»
38	«Варламівський»	44 «Піщаний»
39	«Гомільшанська лісова дача»	45 «Савинська лісова дача»
40	«Крейдянська лісова дача»	46 «Синичинський»
41	«Малинівський»	47 «Сіверськодонецький»
42	«Новодонівський»	
<u>лісові:</u>		<u>загальнозоологічні:</u>
48	«Середньодонецький»	50 «Лиман»
<u>загальногеологічні:</u>		<u>орнітологічні:</u>
49	«Протопопівський»	51 «Мартинівський»
Пам'ятки природи		
<u>ботанічна:</u>		
52	«Красношахтарська»	
Заповідні урочища		
53	«Бір»	

ВИСНОВКИ

1. Пожежі, як складне природно-антропогенне явище, мають значний вплив на екосистеми, зумовлений поєднанням кліматичних умов, ландшафтних особливостей та людської діяльності. Сучасні методи дистанційного моніторингу, зокрема супутникові системи (MODIS, VIIRS), спектральні індекси (NDVI, NBR) та платформи (EFFIS, FIRMS), дозволяють оперативно виявляти гарячі точки, оцінювати масштаби руйнувань і прогнозувати екологічні наслідки. Інтеграція цих технологій забезпечує не лише своєчасне реагування, але й формування стратегій відновлення екосистем, зокрема через аналіз пірогенної релаксації та боротьбу з інвазійними видами. Проте подальший розвиток галузі потребує вдосконалення алгоритмів обробки даних, врахування воєнного контексту та адаптації міжнародного досвіду для збереження біорізноманіття і сталого управління природними ресурсами.

2. Аналіз даних EFFIS виявив суттєві коливання пожежної активності, зумовлені поєднанням кліматичних умов та інтенсивності бойових дій. У 2022 році зафіксовано 486 пожеж (23 639 га), у 2023-му — різке зниження до 191 випадку (8 471 га), проте 2024 рік став катастрофічним із 1938 пожежами (149 814 га, 81,5% від загальної площі вигорянь). Найбільш постраждалими виявилися лісостепові райони, зокрема Куп'янсько-Дворічанський (130), де 81% пожеж припав на 2024 рік. Степова зона зазнала мінімальних втрат через відсутність лісових масивів та менший вплив бойових дій.

3. За допомогою ядерної оцінки щільності (KDE) ідентифіковано три критичні ареали високої інтенсивності: північний, східний та південно-східний, де пожежі корелюють із зонами активних бойових дій. Наприклад, у східному ареалі (район 130) зафіксовано 746 пожеж, що становить 28% від загальнообласного показника. Ці зони характеризуються

високою щільністю горючих матеріалів, руйнуванням інфраструктури та мінуванням, що посилює ризики.

4. Особливу увагу було приділено аналізу наслідків пожеж для природно-заповідного фонду (ПЗФ) Харківської області. Було встановлено, що в період 2022–2025 рр. пожежі охопили 53 об'єкти ПЗФ (21,5% від загальної кількості), що становить загрозу для біорізноманіття регіону. Так, серед заповідних об'єктів, що зазнали безпосереднього впливу пожеж 1 національний природний парк «Дворічанський», який розташований на лінії фронту, 5 регіональних ландшафтних парків («Парк дикої природи "Ольхова балка"», «Печенізьке поле», «Ізюмська лука», «Червонооскільський» та «Великобурлуцький степ») та 46 заказників різного типу (78% від загальної кількості заповідних об'єктів).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A review of vegetation indices / A. Bannari et al. *Remote Sensing Reviews*. 1995. Vol. 13, no. 1-2. P. 95–120. URL: <https://doi.org/10.1080/02757259509532298> (date of access: 28.03.2025).
2. Active satellite TLE data and information. *orbit.ing-now.com*. URL: <https://orbit.ing-now.com/> (date of access: 24.03.2025).
3. Active Fire Detection. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> (date of access: 24.03.2025).
4. *ESA Landsat Catalogue*. URL: https://landsat-diss.eo.esa.int/socat/LANDSAT-8_L1 (date of access: 28.03.2025).
5. GeoEye-1. *Earth Online*. URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/geoeeye-1> (date of access: 24.03.2025).
6. LANCE. *NASA Earthdata*. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/lance> (date of access: 24.03.2025).
7. MCD64A1. *LP DAAC*. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v061/> (date of access: 24.03.2025).
8. MODAPS LANCE 2.0.8. *LANCE*. URL: <https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/> (date of access: 24.03.2025).
9. MODIS/Aqua terra thermal anomalies/fire locations 1km FIRMS NRT (vector data). *NASA Earthdata*. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/lancemodis-mcd14dl-6.1nrt> (date of access: 24.03.2025).
10. Monitoring air pollution from fires. *European Space Agency*. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Monitoring_air_pollution_from_fires (date of access: 24.03.2025).
11. NASA-FIRMS. *FIRMS*. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (date of access: 24.03.2025).

12. Third Party Missions. *Earth Online*. URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/third-party-missions> (date of access: 28.03.2025).
13. Timeline. Landsat Science. *A joint NASA/USGS Earth observation program*. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/timeline/> (date of access: 28.03.2025).
14. Wildfires. *NASA Earthdata*. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/human-dimensions/wildfires> (date of access: 24.03.2025).
15. WorldView Series. *Earth Online*. URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview> (date of access: 24.03.2025).
16. Агроекологічний супутниковий моніторинг : монографія / О. Тараріко та ін. Київ : Держ. вид-во «Аграрна наука», 2019. 228 с. URL: <https://www.agroeco.org.ua/monitirind.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).
17. Бандурка О. І., Свинчук О. В. Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2022. Т. 1, № 67. С. 13–18. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2022.1.013> (дата звернення: 28.03.2025).
18. Бардиш Б., Бурштинська Х. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. № 2(28). С. 82–88. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/content> (дата звернення: 28.03.2025).
19. Безпека життєдіяльності та цивільний захист : навч. посіб. / Т. Русакова та ін. Дніпро : Дніпр. нац. ун-т ім. Олеся Гончара, 2022. 150 с. URL: https://files.fti.dp.ua/wp-content/uploads/tainacan-items/1746/13762/osnovn.pos._bzhd-ta-tsz_p.pdf (дата звернення: 22.03.2025).
20. Бурштинська Х., Декалюк Я. Моніторинг хвойних лісів з використанням даних дистанційного зондування (на прикладі Тухлянського лісгоспу). *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*

Фотограмметрія, геоінформаційні системи та картографія. 2021. № 2(22). С. 99–108. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/>

21. Буц Ю. В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01. Суми, 2020. 399 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/76769/1/diss_Buts.pdf;jsessionid=F87EA82816175860F8AA13D1212E9095 (дата звернення: 22.03.2025).

22. Буц Ю. В. Пірогенна релаксія геосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1-2. С. 71–76. URL: https://journals.urau.ua/ludina_dov/article/view/22328 (дата звернення: 22.03.2025).

23. Визначення тенденцій розвитку рослинного покриву на підставі розрахунку нормалізованого вегетаційного індексу на прикладі Петриківського району Дніпропетровської області / І. Ю. Омелич та ін. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 23. С. 9–13. URL: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.23.159> (дата звернення: 28.03.2025).

24. Вихор Б., Проць Б. Вплив інвазійних видів рослин на природні та напівприродні типи оселищ Закарпаття. *Біологічні студії*. 2014. Т. 8, № 3-4. С. 221–232. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/ (дата звернення: 28.03.2025).

25. Ворон В. П., Мельник Є. Є. Особливості посткатастрофічної пірогенної динаміки живого надґрунтового покриву соснових фітоценозів у лісостепу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2016. № 128. С. 114–121.

26. Дослідження лісових пожеж за даними дистанційного зондування землі (на прикладі чорнобильської зони відчуження) / А. Бабушка та ін. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. № 94. С. 35–43. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2021/dec/26021/211544mak-et-ukr-ost-35-43.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

27. Дослідження пожеж : навч. посіб. / С. Вовк та ін. Львів : ЛДУ БЖД, 2022. 528 с. URL: <https://books.ldubgd.edu.ua/> (дата звернення: 22.03.2025).
28. Заєць Р. А. Оцінка стійкості та ризику втрати екосистеми Ірдинського болотного масиву. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсовикористання. Науково-технічний журнал*. 2018. Т. 17, № 1. С. 65–72. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe (дата звернення: 28.03.2025).
29. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж / В. Зацерковний та ін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2020. Т. 44, № 2. С. 54–58. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.54-58> (дата звернення: 28.03.2025).
30. Іорданова В. Е., Яйлимова Г. О. Методи моніторингу та аналізу здоров'я лісів за супутниковими даними. *Математичне моделювання та аналіз даних* : Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. С. 318–321. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/11b8b921-fe32-4fa5-9e32-7bac7dcf6af8/content> (дата звернення: 28.03.2025).
31. Крят О., Циганенко-Дзюбенко І. Еколого-біотопічна специфіка пост-пірогенних сукцесій лісових екосистем в умовах військового впливу. *Екологічна безпека та раціональне природокористування* : Наук. електрон. вид. тези Всеукр. наук. конф. здобувачів вищ. освіти та молодих уч., м. Житомир, 14 листоп. 2024 р. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/2025/01/> (дата звернення: 28.03.2025).
32. Кузьмина В. Екологічна безпека : конспект лекцій. Одеса : ТЕС, 2012. 131 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/494/1/> (дата звернення: 22.03.2025).

33. Лукін Є., Карандашев В., Білявський П. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Дніпропетровськ. 2013. Т. 1 : Моніторинг небезпек, можливих на території України та Дніпропетровської області. 93 с.
34. Малярєнко В. Енергетичні установки. Загальний курс : навч. посіб. 2-ге вид. Харків : САГА, 2008. 317 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/5763/3/> (дата звернення: 22.03.2025).
35. Мацуська О., Сухорська О. Порівняльний аналіз ефективності вилучення фосфатів із водного середовища природними сорбентами. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 153–158. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/5/5_2020.pdf#page=153 (дата звернення: 22.03.2025).
36. Моніторинг сучасного стану торфовищ Західного Полісся / В. Коніщук та ін. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 3. С. 53–59. URL: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314923> (дата звернення: 22.03.2025).
37. Моніторинг шкідливих організмів лісових екосистем : навчальний посібник. / Н. В. Пузріна та ін. Київ : НУБіП, 2021. 273 с. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/> (дата звернення: 28.03.2025).
38. Пожежі в Харківській області: онлайн аналітика та кількість пожеж. *Єдина в Україні екологічна система - SaveEcoBot*. URL: <https://www.saveecobot.com/analytics/fires/kharkivska-oblast?days=1095> (дата звернення: 09.05.2025).
39. Понад 1300 кілометрів нових мінералізованих смуг проклали цьогоріч у лісах Черкащини. *Черкаська обласна державна адміністрація*. URL: <https://ck-oda.gov.ua/novyny-cherkaskoyi-oblasti/> (дата звернення: 28.03.2025).
40. Попович В. В., Гапало А. І. Засоленість постпірогенних ґрунтів Українського Розточчя. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2020. № 22. С. 12–17. URL: <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.02> (дата звернення: 22.03.2025).

41. Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України : Наказ Держ. ком. ліс. госп-ва України від 27.12.2004 № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text> (дата звернення: 22.03.2025).
42. Сергєєва К. Вегетаційні індекси та їх застосування в агросекторі. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/blog/vegetatsiini-indeksy/> (дата звернення: 28.03.2025).
43. Соломашенко В. С., Кришталь Т. М. Деякі причини виникнення пожеж в природних екосистемах. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених* : Мат. Всеукр. науково-практ. конф. курсантів і студентів, м. Черкаси, 13 трав. 2021 р. Черкаси, 2021. С. 61–63. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/1234> (дата звернення: 22.03.2025).
44. Соломін В. П. Безпека життєдіяльності для педагогічних та гуманітарних напрямків. 2015. URL: https://stud.com.ua/55123/bzhd/torfyani_pozhezhi (дата звернення: 22.03.2025).
45. Чернявський М. В., Шукель І. В. Пожежі в лісах і збитки завдані ними внаслідок воєнних дій. *Відновлення довкілля України внаслідок збройної агресії росії* : Зб. тез доп. Круглого столу, м. Львів, 17 берез. 2023 р. Львів, 2023. С. 94–98. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/> (дата звернення: 22.03.2025).