

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та
екології**

**Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту
довкілля**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Оцінка завданої шкоди довкіллю внаслідок лісової
пожежі»

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньою програмою Екологія
спеціальності 101 Екологія
ступеня вищої освіти бакалавр
групи 101Еко_бд

Гигера Анна Тарасівна

Керівник: Тараненко Анна Олексіївна,
к.с.-г.н., доцент

Рецензент: Коваленко Н.П., к.с.-г.н.,
доцент

Полтава – 2025 року

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ВПЛИВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	
7	
1.1. Поняття та класифікація лісових пожеж	7
1.2. Екологічні наслідки лісових пожеж	9
1.3. Економічна шкода від лісових пожеж	16
1.4. Наслідки лісових пожеж для здоров'я населення.....	21
1.5. Стратегії відновлення природних територій після лісових пожеж	25
РОЗДІЛ II. МЕТОДОЛОГІЇ ТА ІНСТРУМЕНТИ СУЧАСНОЇ ОЦІНКИ ШКОДИ ВІД ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ	
30	
2.1. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС)	30
2.2. Математичне моделювання та прогнозування.....	31
2.3. Використання штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) .	32
2.4. Економічна оцінка екосистемних послуг	33
2.5. Інтегровані системи моніторингу та оцінки.....	34
2.6. Регулювання оцінки збитків від пожеж в Україні	36
РОЗДІЛ III. РОЗРАХУНОК ШКОДИ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ ВНАСЛІДОК ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ.	
38	
3.1. Характеристика об'єкта дослідження.	38
3.2. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок лісової пожежі.....	42
3.3.Розрахунок розмірів шкоди, завданої неорганізованими викидами забруднюючих речовин або сумішей таких речовин в атмосферне повітря внаслідок лісової пожежі.....	44
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Лісові пожежі є однією з найруйнівніших природних катастроф, що щороку спричиняють значні екологічні, економічні та соціальні втрати по всьому світу. Зміна клімату, що проявляється у зростанні температур та зміні режиму опадів, посилює частоту та інтенсивність цих явищ, перетворюючи їх на дедалі серйознішу загрозу для глобальних екосистем. Україна, з її значними лісовими масивами, також не є винятком. Регулярні лісові пожежі, особливо у посушливі періоди, призводять до деградації ґрунтів, втрати біорізноманіття, забруднення атмосферного повітря та водних об'єктів, а також до руйнування інфраструктури та загрози життю людей. У контексті цих загроз, оцінка завданої шкоди довіллю внаслідок лісової пожежі набуває першочергового значення.

Комплексна оцінка наслідків лісових пожеж є складною, багатофакторною задачею, що вимагає інтеграції знань з різних галузей науки, включаючи екологію, лісівництво, геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі та економіку природокористування. Традиційні підходи до оцінки збитків часто зосереджуються лише на прямих матеріальних втратах, таких як вартість знищеної деревини чи пошкодженої інфраструктури. Однак, справжня ціна лісових пожеж є набагато вищою і включає в себе непрямі та довгострокові наслідки для екосистемних послуг, які ліси надають суспільству. До цих послуг відносяться регуляція клімату, фільтрація повітря та води, збереження ґрунтової родючості, підтримка біорізноманіття, рекреаційні можливості та багато іншого. Втрата або деградація цих послуг має кумулятивний негативний ефект, що поширюється далеко за межі безпосередньо постраждалих територій.

Актуальність даного дослідження зумовлена не лише зростаючою загрозою лісових пожеж, а й відсутністю уніфікованих та всеосяжних методик для оцінки екологічної шкоди в Україні. Існуючі підходи часто фрагментовані, не враховують повний спектр екологічних наслідків та не дозволяють

адекватно інтегрувати отримані дані для прийняття ефективних управлінських рішень. Розробка та апробація ефективних інструментів для кількісної та якісної оцінки шкоди є критично важливою для розробки стратегій запобігання пожежам, планування заходів з відновлення лісів, визначення розмірів компенсації за завдану шкоду та підвищення стійкості екосистем до майбутніх загроз.

Дана наукова робота має на меті розробити та обґрунтувати методичні підходи до оцінки завданої шкоди довкіллю внаслідок лісової пожежі, що охоплюватимуть не лише прямі, але й опосередковані екологічні наслідки. Основна увага буде приділена аналізу впливу пожеж на ключові компоненти лісових екосистем, такі як ґрунтовий покрив, рослинність, тваринний світ, якість повітря та водних ресурсів. Буде розглянуто використання сучасних геоінформаційних технологій та методів дистанційного зондування Землі, що дозволяють ефективно моніторити території, оцінювати ступінь пошкодження та прогнозувати довгострокові зміни. Результати дослідження сприятимуть більш точному визначенню реального масштабу збитків від лісових пожеж, обґрунтованому прийняттю рішень щодо відновлювальних заходів та розробці ефективних природоохоронних стратегій.

Метою кваліфікаційної роботи стало оцінити завдану шкоду довкіллю внаслідок лісової пожежі.

Об'єктом дослідження є: лісова екосистема, що постраждала внаслідок лісової пожежі, з акцентом на її структурні та функціональні компоненти. Включає в себе не тільки безпосередньо уражені пожежею ділянки лісового покриву, але й прилеглі території, які зазнали опосередкованого впливу, наприклад, через дим, зміни у гідрологічному режимі чи вивітрювання ґрунту.

Предметом дослідження є викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення лісової пожежі.

Для виконання мети були поставлені наступні завдання дослідження:

Проаналізувати та обґрунтувати методичні підходи до оцінки завданої шкоди довкіллю внаслідок лісової пожежі.

Проаналізувати вплив лісових пожеж на ключові компоненти лісових екосистем.

Дослідити сучасні геоінформаційні технології та методи дистанційного зондування Землі для моніторингу та оцінки пошкоджень.

Визначити збитки від лісових пожеж, враховуючи не лише прямі, а й опосередковані екологічні та екосистемні наслідки.

Надати науково обґрунтовані рекомендації для розробки ефективних природоохоронних стратегій та відновлювальних заходів.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається із 51 сторінок тексту, 5 рисунків. Зміст роботи викладено у 3 розділах. Список використаної літератури становить 38 джерел.

Результати роботи апробовані на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» – 23 травня 2025, м. Полтава.

Публікації:

1. Тараненко А.О., Гигера А.Т. Екологічні наслідки лісових пожеж. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: матеріали VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференції (27 травня 2025, м. Полтава.). С. 31-37.

РОЗДІЛ І.

ВПЛИВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1. Поняття та класифікація лісових пожеж

Зважаючи на свою комплексну, поліфакторну природу, лісові пожежі вимагають поглибленого наукового аналізу. Наріжним каменем для дієвого моніторингу, передбачення ризиків, формування превентивних заходів та визначення тактики їх приборкання слугує чітке формулювання дефініції цього явища та розгалужена система його класифікації. Усвідомлення впливу різноманітних природних та людських чинників на генезис та динаміку пожеж дає змогу сконцентрувати зусилля на зменшенні їх згубних ефектів та охороні лісових екосистем. Перспективні наукові розвідки у цій царині мають бути орієнтовані на удосконалення методик прогнозування пожежної небезпеки, створення інноваційних технологій гасіння та підвищення результативності профілактичних заходів щодо запобігання виникненню лісових загорянь [1-3]. Лісові пожежі належать до найбільш великомасштабних та деструктивних стихійних лих, що спричиняють вагомі збитки екологічним системам, національним господарствам та добробуту людей. З'ясування сутності лісових пожеж, їх систематизації та чинників, що зумовлюють їх появу та розповсюдження, є надзвичайно важливим для створення ефективних стратегій їх попередження та протидії. Цей літературний огляд ставить за мету систематизувати ключові наукові концепції щодо тлумачення поняття та розподілу лісових пожеж за категоріями.

У наукових працях лісову пожежу трактують як невідконтрольне займання флори, що самовільно розповсюджується територією лісу. Основними характеристиками цього визначення є відсутність контролю над процесом горіння та його спонтанне поширення в межах лісових угідь. Різноманітні дослідники акцентують увагу на різних аспектах цього феномену.

Наукова спільнота характеризує лісову пожежу як "стихийне, некероване розповсюдження полум'я лісовими масивами". Інші вчені, наприклад М.О. Ковальчук, наголошують на екологічних впливах, розглядаючи лісову пожежу як "процес займання, що з'являється спонтанно або як наслідок людської активності в лісовому середовищі, розповсюджується з визначеною швидкістю та тривалістю, призводячи до знищення або ушкодження лісових насаджень та інших складових лісового біогеоценозу". Загалом, фахівці погоджуються, що лісова пожежа – це багатогранне природне чи спричинене людиною явище, для якого властиве некероване вигорання рослинних субстанцій у лісовому оточенні [4-7].

Систематизація лісових пожеж виступає значущим інструментарієм для їхнього дослідження, прогнозування та планування протипожежних операцій. Існує кілька методологій класифікації, що ґрунтуються на різноманітних ознаках.

Поява та ескалація лісових пожеж обумовлені комплексом взаємозумовлених чинників, які можна класифікувати таким чином:

Кліматичні параметри: показники температури атмосферного повітря, рівень відносної вологості, інтенсивність та вектор вітру, обсяг атмосферних опадів. Затяжні бездошові періоди, що супроводжуються високими температурними значеннями та низьким вмістом вологи, формують сприятливе середовище для виникнення вогню та його стрімкого розповсюдження. Потужний вітер істотно прискорює поширення пожежі та може зумовити трансформацію низового горіння у верхове.

Специфіка горючих субстанцій: різновид, об'єм, ступінь зволоження, будова та просторова дислокація лісових горючих субстанцій (ЛГС). До ЛГС належать лісовий опад, сухий травостій, кущі, молодняк, сухостій, торф'яні поклади тощо.

Орографічні особливості території: експозиційні характеристики та стрімкість укосів мають вплив на динаміку поширення полум'я та специфіку

його ліквідації. На укосах південної орієнтації та на значних схилах пожежі розповсюджуються інтенсивніше.

Людський фактор: активність людей є доміантною причиною виникнення займань у лісах на переважній частині території планети. Недбале ставлення до вогню, випалювання сухої рослинності в аграрних цілях, умисні підпали, а також іскри від засобів пересування та індустріальних установок є типовими джерелами загорянь [8].

1.2. Екологічні наслідки лісових пожеж

Лісові загоряння, незалежно від їхнього природного чи спричиненого людиною походження, виступають як вагомий екологічний чинник, що здійснює істотний вплив на структуру, функціонування та динаміку лісових екосистем у планетарному масштабі. Їхні наслідки поширюються на всі складові природного середовища – починаючи від окремих живих істот і закінчуючи цілісними біомами, призводячи до змін у біорізноманітті, фізико-хімічних характеристиках ґрунтів, водному режимі територій, складі атмосферного повітря та, врешті-решт, впливаючи на кліматичні явища. Враховуючи збільшення частоти та інтенсивності лісових пожеж, зумовлене глобальними кліматичними трансформаціями та антропогенною діяльністю, комплексне осмислення їхніх екологічних результатів набуває надзвичайної важливості для формування стратегій раціонального лісокористування, збереження різноманіття живих організмів та зменшення шкідливого навантаження на довкілля [9-11].



Рис.1. Причини та наслідки лісових пожеж

Вплив на біологічне різноманіття

Лісові займання чинять глибокий та різносторонній вплив на біологічне різноманіття, зачіпаючи всі його рівні організації – від генетичного до рівня цілих екосистем. Результати для рослинного та тваринного світу визначаються силою, тривалістю, періодичністю та видом пожежі, а також специфічними пристосуваннями видів і особливостями самої екосистеми.

Вплив на флору

Прямий ефект пожежі на рослинний покрив виявляється у відмиранні або ураженні деревних порід, чагарникової рослинності та трав'яного ярусу. Сильні верхові пожежі здатні спричинити повне знищення лісових насаджень на великих територіях. Низові пожежі, будучи менш згубними для дорослих дерев із потужною корою, тим не менш, можуть винищувати молодий підріст, чагарниковий ярус та запаси насіння у верхньому шарі ґрунтового покриву. Проте, чимало видів рослин, особливо в екосистемах, які історично зазнавали дії вогню, володіють особливими механізмами пристосування (пірофітними

характеристиками). Серед них – товста жаростійка кора (як, наприклад, у сосни звичайної чи дуба коркового), здатність до інтенсивного вегетативного поновлення від підземних частин (кореневищ, цибулин), явище серотинії – утримання насіння в шишках, які розкриваються виключно під дією високих температур (наприклад, у певних видів сосен та евкаліптів), а також індукція проростання насіння продуктами горіння (димом) або термічним впливом.

Пожежі трансформують видовий склад фітоценозів. Після вогневого впливу нерідко спостерігається переважання піонерних світлолюбних рослин, які оперативно заселяють вільні ділянки. Це може спричинити тимчасове або навіть тривале скорочення видового багатства, особливо якщо пожежі трапляються з невласивою для конкретної екосистеми частотою або інтенсивністю, що заважає відновленню клімакських видів. Водночас, у певних вогнезалежних екосистемах періодичні займання є необхідним чинником для підтримки значного рівня біорізноманіття, оскільки вони обмежують домінування конкурентно потужних тіньовитривалих видів та сприяють формуванню мозаїчної структури ландшафту [12-14].

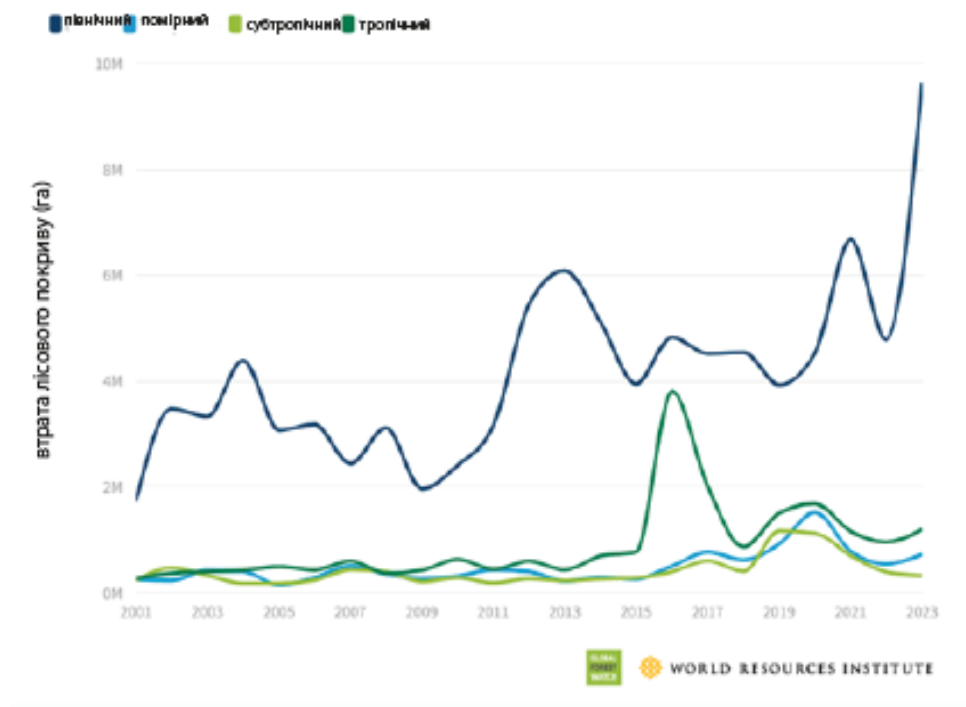


Рис. 2. Щорічні світові втрати лісового покриття внаслідок пожеж, 2001-2023 р.р.

Вплив на фауну

Наслідки лісових пожеж для представників тваринного світу можуть бути різними – від безпосередньої загибелі до довготривалих трансформацій умов існування. Маломобільні тварини, молодняк, а також організми, що населяють лісову підстилку та ґрунт, нерідко стають жертвами вогню та екстремальних температур. Більш рухливі види можуть уникнути небезпеки шляхом міграції на неуражені ділянки, проте й вони згодом стикаються з проблемою дефіциту кормових ресурсів, місць для розмноження та укриттів.

Пожежі спричиняють суттєві зміни у структурі та складі фауністичних угруповань. Зменшення густоти рослинного покриву, трансформація його ярусної будови та видового складу впливають на доступність харчових ресурсів та захисних умов для різних видів. Деякі тварини можуть отримати тимчасову перевагу від пожежі (наприклад, хижаки, які полюють на ослаблених чи дезорієнтованих особин, або птахи-комахоїди, що харчуються комахами, які масово з'являються на згарищах). Проте, для багатьох вузькоспеціалізованих видів, що тісно пов'язані з певними типами лісових біотопів, пожежі можуть мати фатальні наслідки, призводячи до зменшення чисельності популяцій або навіть до їх локального. Відновлення фауністичних спільнот значною мірою залежить від швидкості та характеру регенерації рослинності [15-17].

Вплив на ґрунтовий покрив

Лісові пожежі викликають істотні перетворення у фізичних, хімічних та біологічних характеристиках ґрунтів. Глибина цих змін визначається температурою горіння, тривалістю термічного впливу, типом ґрунту та вмістом органічних сполук. Високі температури в процесі пожежі спричиняють вигорання органічної речовини, яка є фундаментальним елементом для формування структури ґрунту. Втрата органіки може призвести до ущільнення ґрунтового профілю, зниження його пористості та здатності пропускати воду. На ґрунтовій поверхні може сформуватися гідрофобний (водовідштовхувальний) шар через конденсацію органічних сполук, що

випаровуються з підстилки та верхніх ґрунтових горизонтів. Цей шар ускладнює проникнення води, що, в свою чергу, зумовлює збільшення поверхневого стоку та інтенсифікацію процесів водної ерозії, особливо на схилових поверхнях. З іншого боку, існують випадки, коли попіл може тимчасово покращувати агрегацію ґрунтових частинок.

Пожежі значно впливають на цикли поживних елементів у ґрунті. Спостерігається стрімке вивільнення мінеральних компонентів (таких як кальцій, магній, калій, фосфор) із рослинної біомаси та лісової підстилки у формі попелу. Це може тимчасово збільшити доступність зазначених елементів для рослин та мікроорганізмів. Однак, істотна частка азоту та сірки втрачається в атмосферу у вигляді газоподібних сполук через процеси піролізу та окиснення органічної речовини. Пожежі також можуть спричинити підвищення рівня рН ґрунту внаслідок утворення карбонатів з попелу. У довгостроковій перспективі, часті інтенсивні пожежі здатні призвести до виснаження ґрунтів поживними речовинами та зменшення їхньої родючості через ерозійні втрати та процеси вилуговування.

Ґрунтова біота, що включає мікроскопічні організми (бактерії, гриби, актиноміцети) та представників мезофауни (кліщів, нематод, комах), виконує провідну роль у процесах деструкції органічної речовини та колообігу поживних елементів. Високі температури під час пожежі призводять до масової загибелі ґрунтових організмів, особливо у поверхневих шарах. Руйнування мікоризних грибів може негативно позначитися на зростанні та виживанні рослин, особливо на етапі проростків. Тим не менш, деякі мікроорганізми, що є стійкими до високих температур або здатні швидко колонізувати постпірогенне середовище, можуть демонструвати зростання своєї чисельності після пожежі. Відновлення ґрунтової біоти є тривалим процесом, що залежить від швидкості регенерації рослинного покриву та надходження свіжих органічних субстанцій [16].

Вплив на водні об'єкти

Лісові пожежі чинять значний вплив на гідрологічний режим та якісні показники водних ресурсів як на місцевому, так і на регіональному рівнях.

Знищення рослинності та лісової підстилки, а також формування гідрофобних шарів у ґрунті, спричиняють зменшення інфільтраційних процесів та зростання поверхневого стоку. Це може призвести до збільшення максимальних витрат води в річках під час дощових періодів, почастищення та посилення паводків, а також до зменшення базового стоку в посушливі сезони через скорочення запасів вологи в ґрунті. Зміни в сумарному випаровуванні (евапотранспірації), зумовлені втратою рослинності, також впливають на водний баланс річкових басейнів.

Поверхневий стік із вигорілих територій транспортує значну кількість попелу, завислих ґрунтових частинок, органічних сполук та розчинених мінеральних елементів до водних об'єктів (річок, озер, водосховищ). Це зумовлює погіршення якісних характеристик води: зростає її каламутність, підвищується концентрація поживних речовин (передусім азоту та фосфору), що може спровокувати евтрофікацію водойм та "цвітіння" води. Також існує ризик забруднення води важкими металами та поліциклічними ароматичними вуглеводнями, які утворюються в процесі горіння. Ці трансформації негативно впливають на водні екосистеми, зокрема на рибу та інших гідробіонтів, а також можуть створювати перешкоди для використання води з метою питного та побутового водопостачання [17].

Вплив на атмосферне повітря та клімат

Лісові пожежі є суттєвим джерелом емісії різноманітних газів та аерозольних частинок в атмосферу, що впливає на її хімічний склад, якість повітря та кліматичні процеси.

Під час згоряння лісової біомаси в атмосферу потрапляє великий обсяг діоксиду вуглецю (CO_2), одного з головних парникових газів. Також утворюються інші гази з парниковим ефектом, такі як метан (CH_4) та окис азоту (N_2O), хоча і в менших обсягах. Окрім парникових газів, пожежі є джерелом оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x), летких органічних

сполук та твердих частинок (сажі, органічного вуглецю), які є забруднювачами атмосферного повітря та можуть негативно позначатися на здоров'ї людей та стані екосистем. Дим від лісових пожеж здатний поширюватися на значні відстані, погіршуючи якість повітря в регіонах, що знаходяться далеко від епіцентру горіння [18].

Вплив на кліматичні умови

Викиди парникових газів, що утворюються внаслідок лісових пожеж, посилюють глобальне потепління. Хоча лісові масиви здатні абсорбувати CO₂ під час свого росту, великомасштабні та часті пожежі можуть перетворити лісові екосистеми з поглиначів вуглецю на його емітенти. Аерозолі, що викидаються під час пожеж (зокрема, частинки сажі), можуть мати як охолоджувальний (завдяки відбиттю сонячного випромінювання), так і нагрівальний (через поглинання сонячного випромінювання) вплив на клімат, що залежить від їхнього хімічного складу, розміру та висоти знаходження в атмосфері. Зміни в альbedo земної поверхні (коефіцієнті відбиття сонячної радіації) після пожежі також можуть впливати на локальний та регіональний енергетичний баланс.

Пірогенні сукцесійні процеси та відновлення екосистем

Після проходження лісових пожеж активізуються процеси вторинної сукцесії – послідовної зміни рослинних формацій на ураженій території. Динаміка та характер відновлення екосистем визначаються численними чинниками, серед яких тип та інтенсивність пожежі, кліматичні умови, наявність джерел насінневого матеріалу, характеристики ґрунту та присутність трав'янистих тварин.

У багатьох ситуаціях лісові екосистеми виявляють значну резистентність та здатність до самостійного відновлення. Піонерні види рослин швидко колонізують вигорілі ділянки, створюючи передумови для поступового повернення більш конкурентоспроможних видів. Однак, якщо пожежі стають надто частими або надмірно інтенсивними, або якщо екосистема зазнала суттєвих трансформацій (наприклад, внаслідок інвазії

чужорідних видів), природна регенерація може бути сповільненою або навіть унеможливленою, що призводить до тривалої деградації екосистеми або її перетворення на інший тип рослинності (наприклад, перетворення лісу на чагарникові зарості або лучні угіддя). Управління наслідками пожеж може передбачати заходи, спрямовані на сприяння природному поновленню, або ж проведення штучного лісовідновлення.

Отже, лісові пожежі являють собою комплексне екологічне явище з довготривалими та масштабними наслідками для всіх складових природного середовища. Вони спричиняють істотні трансформації у біорізноманітті, фізико-хімічних параметрах ґрунтів, гідрологічному режимі, якості водних ресурсів та складі атмосфери. Хоча певні екосистеми пристосовані до визначеного пожежного режиму і навіть залежать від нього для свого існування, зміни у частоті, інтенсивності та масштабах пожеж, спричинені кліматичними зрушеннями та людською діяльністю, створюють значну загрозу для стабільності лісових екосистем та їхньої спроможності забезпечувати екосистемні послуги [19-21].

Глибоке усвідомлення екологічних наслідків лісових пожеж є надзвичайно важливим для розробки дієвих стратегій запобігання неконтрольованим займанням, управління територіями, що зазнали впливу вогню, та адаптації до нових пожежних режимів в умовах мінливого клімату. Майбутні наукові дослідження мають бути сфокусовані на вивченні довгострокових ефектів пожеж на різноманітні типи екосистем, взаємодії між пожежами та іншими стресовими факторами (такими як інвазійні види, посухи), а також на розробці науково обґрунтованих методик використання контрольованих випалювань як інструменту управління ландшафтами та збереження біологічного різноманіття.

1.3. Економічна шкода від лісових пожеж

Лісові пожежі є однією з найстрашніших катастроф для екологічних систем та добробуту людини. Вони залишають по собі не лише згарища, а й глибокі, часто невідновні рубці на економічному, природному та суспільному

житті. В умовах посилення глобальної зміни клімату, що спричиняє вищі температури й триваліші посухи, а також через зростаюче навантаження від людської діяльності, загроза лісових пожеж набуває безпрецедентної гостроти. Тому, економічний аналіз збитків від цих лих більше не є виключно науковою справою, а перетворюється на життєво необхідний інструмент для розробки дієвих стратегій попередження, оперативного гасіння та довготривалого відновлення лісових екосистем. Повне усвідомлення масштабу та багатогранності втрат є ключовим для обґрунтування потрібних вкладень у заходи протипожежної безпеки, що в підсумку допоможе зберегти безцінні лісові ресурси та їхні екосистемні послуги для поточного та майбутніх поколінь [22].

Економічна оцінка шкоди від лісових пожеж – це складне міждисциплінарне завдання, що вимагає об'єднання знань з економічної теорії, екології, лісівництва та соціології. У науковій літературі вирізняються кілька взаємодоповнюючих методологічних напрямків. Насамперед, це визначення прямих втрат, які є найбільш очевидними та легко піддаються грошовому виміру. До цієї категорії належить безпосередня вартість знищеного лісоматеріалу, як комерційного, так і того, що не призначений для продажу, але є критично важливим для функціонування екосистеми. Сюди ж відносяться пошкодження лісової інфраструктури, такої як лісові дороги, мости, господарські споруди, а також втрати устаткування та значних ресурсів, що були задіяні безпосередньо у процесі боротьби з вогнем. Важливо також враховувати видатки на рекультивацію та первинне відновлення уражених лісових ділянок.

Набагато складнішою для кількісної оцінки є категорія непрямих збитків. Вона охоплює втрати, які не мають прямої ринкової вартості, але суттєво впливають на добробут суспільства та стабільність екосистем. До них належить неоціненна втрата екологічних послуг, які надають ліси: це і регулювання водного балансу, і ґрунтозахисні функції, і ключова роль у поглинанні вуглекислого газу, і збереження біорізноманіття, і забезпечення

можливостей для відпочинку. Також сюди входить непрямий, але відчутний вплив на якість повітря та, як наслідок, на здоров'я людей. Оцінка непрямих збитків часто базується на спеціалізованих методиках визначення цінності екосистемних послуг. Серед них виділяють метод уникнутих витрат, що визначає вартість послуг за економією, досягнутою завдяки існуванню екосистеми; метод відновлювальних витрат, який визначає вартість відновлення пошкоджених екосистемних функцій. Для оцінки нематеріальних благ застосовують метод умовних оцінок, що через опитування виявляє готовність громадськості платити за збереження або відновлення екосистемних послуг [23].

Особливо складною, але водночас вкрай важливою є оцінка соціальних збитків. Цей аспект охоплює вплив лісових пожеж на суспільне життя, включаючи людські жертви та погіршення здоров'я, знищення житла та майна, сильний психологічний тиск на постраждалих, вимушене переселення населення, порушення звичного укладу життя місцевих спільнот, а також безповоротну втрату культурних та історичних цінностей. Кількісне визначення цих збитків є найскладнішим і часто базується на статистичних даних, аналізі медичних витрат, втратах продуктивності праці через захворювання та якісних соціологічних дослідженнях.

Серед головних елементів шкоди, що підлягають економічній оцінці, найочевиднішою є втрата деревини та лісових ресурсів. Це не лише втрата комерційної деревини, яка вимірюється обсягом знищеного лісу та його ринковою вартістю з урахуванням породи, віку та потенційного доходу від реалізації. Це також втрата нетоварної деревини, яка, хоч і не має прямої комерційної цінності, виконує важливі екологічні функції, і її оцінка може здійснюватися за відновлювальною вартістю. Крім того, пожежі суттєво знижують щорічний приріст деревини на значних територіях, що призводить до довгострокових втрат потенційних доходів [24].

Оцінка збитків для екосистемних послуг є одним із найскладніших, але водночас найважливіших аспектів економічної оцінки шкоди. Це охоплює

втрату вуглецевого депонування, оскільки ліси є основними поглиначами вуглецю, а пожежі не лише вивільняють накопичений вуглець в атмосферу, а й зменшують здатність екосистеми до його подальшого поглинання, що може оцінюватися за ринковими цінами на вуглецеві кредити. Порушення водного балансу та ґрунтозахисних функцій внаслідок знищення лісового покриву призводить до посилення ерозійних процесів, забруднення водних джерел, збільшення ризику повеней та зсувів, що може оцінюватися на основі вартості заходів з попередження ерозії або відновлення якості води. Втрата біорізноманіття, що виникає внаслідок знищення середовищ існування багатьох видів рослин і тварин, є особливо складною для оцінки і часто вимагає застосування методів умовних оцінок. Зниження рекреаційного потенціалу, оскільки ліси є важливими місцями для відпочинку та туризму, призводить до втрат доходів від туризму та зниження добробуту населення.

Соціально-економічні наслідки лісових пожеж виходять далеко за межі безпосередньо постраждалих регіонів. Вплив на здоров'я громадян є значним, оскільки дим від пожеж містить шкідливі речовини, які негативно впливають на дихальну та серцево-судинну системи, що призводить до зростання захворюваності та смертності. Також це завдає збитків сільському господарству, оскільки пожежі можуть знищити аграрні угіддя, пасовища, врожаї та худобу. Втрати інфраструктури та майна є очевидними, адже пожежі загрожують населеним пунктам, об'єктам енергетики, транспорту, зв'язку, що потребує значних витрат на відбудову. Не менш важливими є й психологічні наслідки, адже втрата домівок, засобів до існування та спостереження за руйнуванням природи може викликати у людей глибокі психологічні травми, що впливає на їхнє благополуччя [25-27].

Попри значний прогрес у розробці методологій, економічна оцінка шкоди від лісових пожеж стикається з низкою серйозних перешкод. Це, насамперед, невизначеність та складність кількісної оцінки непрямих та соціальних втрат, оскільки багато екосистемних послуг та соціальних наслідків не мають ринкової вартості. Існує також проблема браку

комплексних баз даних, адже для повної оцінки необхідні детальні дані про стан лісів до та після пожежі, екологічні параметри, соціально-економічні показники регіонів. Часовий розрив є ще одним викликом, оскільки деякі збитки, такі як втрата біорізноманіття або зниження родючості ґрунтів, проявляються не відразу, а через тривалий час після пожежі. Регіональні особливості також ускладнюють оцінку, адже методи та результати можуть суттєво відрізнятися залежно від типу лісу, його екологічної та економічної цінності, щільності населення та рівня розвитку інфраструктури. Зрештою, ефективна оцінка вимагає тісної міжгалузевої співпраці економістів, лісівників, екологів, соціологів та інших фахівців [28].

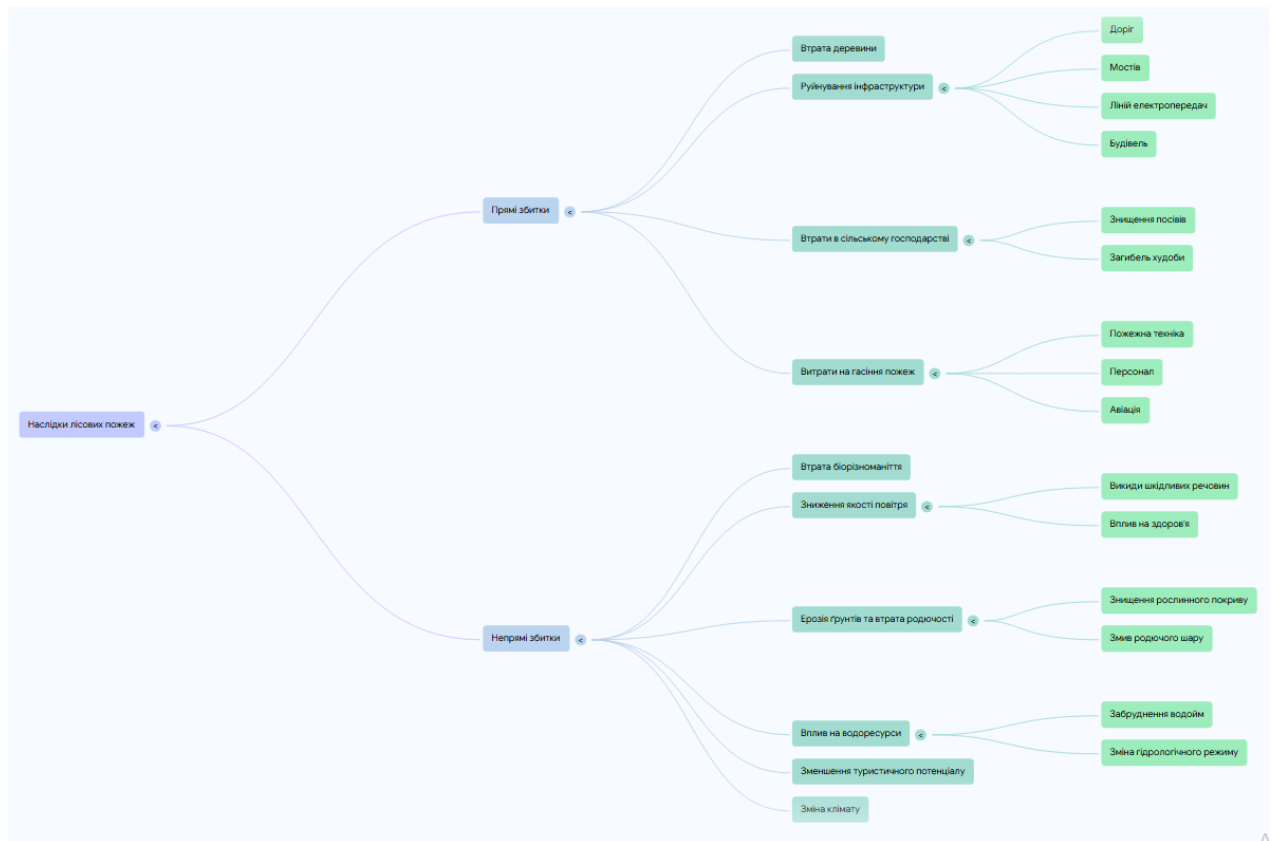


Рис. 3. Наслідки лісових пожеж в Україні

Економічна оцінка шкоди від лісових пожеж є ключовим інструментом для обґрунтування політики у сфері лісового господарства та управління ризиками. Комплексний підхід, що враховує як прямі, так і непрямі та соціальні збитки, дозволяє повніше усвідомити масштаби проблеми та розробити ефективні стратегії. Подальші дослідження мають зосереджуватися

на вдосконаленні методик кількісної оцінки непрямих та соціальних збитків, розробці національних стандартів оцінки, а також на створенні інтегрованих інформаційних систем для збору та аналізу даних. Лише такий всеосяжний підхід дозволить максимально ефективно інвестувати у запобігання пожежам та мінімізувати їхні руйнівні наслідки для економіки, природи та суспільства загалом.

1.4. Наслідки лісових пожеж для здоров'я населення

Лісові пожежі, що з кожним роком стають дедалі інтенсивнішими та охоплюють все більші території під впливом кліматичних змін, становлять не просто екологічну катастрофу, а й серйозну, зростаючу загрозу для здоров'я світового населення. Дим від цих пожеж – це складна, мінлива суміш газоподібних домішок та мікроскопічних твердих частинок. Він може поширюватися на сотні й навіть тисячі кілометрів від місця займання, впливаючи на значні за чисельністю людські спільноти. Глибоке розуміння всіх наслідків для здоров'я – від гострих респіраторних проблем до довготривалих хронічних хвороб – є абсолютно необхідним для розробки дієвих стратегій у сфері громадського здоров'я, створення ефективних систем раннього оповіщення та впровадження заходів, спрямованих на зменшення ризиків [29].

Основними складовими диму лісових пожеж, які є продуктами неповного згоряння органічної речовини (деревини, листя, ґрунту) та несуть найбільшу небезпеку для людського організму, є дрібнодисперсні частки (PM_{2.5}). Ці мікроскопічні частинки, розміром менше 2.5 мікрометрів, є найбільш підступними, адже вони здатні глибоко проникати у дихальні шляхи, досягаючи навіть найвіддаленіших ділянок легень – альвеол. Їхній вплив на організм є найбільш ретельно вивченим і асоціюється з широким спектром несприятливих наслідків для здоров'я. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), PM_{2.5} вважається одним із провідних факторів ризику для здоров'я у всьому світі, а дослідження, подібні до робіт, заклали основи для розуміння небезпеки цих частинок [30].

Окрім PM_{2.5}, дим містить оксид вуглецю (CO) – безбарвний газ без запаху. При вдиханні він зв'язується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін. Це значно знижує здатність крові транспортувати кисень до тканин і органів, що може призвести до гіпоксії, особливо небезпечної для осіб із серцево-судинними захворюваннями. Також у складі диму присутні оксиди азоту (NO_x), зокрема діоксид азоту (NO₂), який подразнює дихальні шляхи та може погіршувати перебіг астми та інших респіраторних недуг. Вони також є прекурсорами для утворення приземного озону. Не менш небезпечними є леткі органічні сполуки (ЛОС), такі як бензол, формальдегід, акролеїн; багато з них є сильними подразниками дихальних шляхів, а деякі, зокрема бензол, визнані канцерогенами. Нарешті, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), що утворюються при неповному згорянні, є відомими канцерогенами та мутагенами.

Вдихання диму від лісових пожеж може викликати низку гострих проблем зі здоров'ям, які проявляються одразу або невдовзі після контакту із забрудненим повітрям. Найбільш чутливою до впливу диму є дихальна система. Дослідження показують значне зростання кількості звернень до лікарень та відділень невідкладної допомоги через загострення астми, хронічного обструктивного захворювання легень (ХОЗЛ), бронхітів, пневмоній, а також частіших гострих респіраторних інфекцій. Типові симптоми включають стійкий кашель, свистяче дихання, задишку, біль у горлі та подразнення очей. Особливо вразливими є діти, люди похилого віку та особи, що вже мають респіраторні захворювання.

Серцево-судинна система також страждає: вплив дрібнодисперсних часток асоціюється зі збільшенням ризику серцевих нападів, інсультів, аритмій та загострення ішемічної хвороби серця. PM_{2.5} можуть спричинити системне запалення та підвищення здатності крові до згортання, що сприяє розвитку тромбозів. Деякі дослідження вказують і на ймовірний вплив диму на нервову систему, що може проявлятися головним болем, втомою, запамороченням. Існують також припущення про зв'язок між впливом диму та

когнітивними порушеннями, особливо у дітей. До поширених симптомів також належить подразнення слизових оболонок очей, носа, горла, що проявляється печінням, сльозотечею, нежитем, болем у горлі та першінням.

Наслідки впливу диму лісових пожеж не обмежуються лише гострими реакціями; вони можуть мати значні довгострокові ефекти на здоров'я. Тривалий або повторний вплив диму здатен сприяти розвитку або погіршенню хронічних респіраторних захворювань, таких як ХОЗЛ, астма у дорослих, та зменшенню функції легень. Існує занепокоєння, що довгостроковий вплив PM_{2.5} від пожеж може збільшувати ризик розвитку артеріальної гіпертензії, атеросклерозу та інших хронічних серцево-судинних станів. Наявність канцерогенних сполук (ПАВ, бензол) у димі пожеж викликає побоювання щодо потенційного довгострокового ризику розвитку онкологічних захворювань, зокрема раку легень. Хоча прямі докази зв'язку між впливом диму лісових пожеж і підвищеним ризиком раку у людей є складними для отримання, дані епідеміологічних досліджень забруднення повітря загалом вказують на такий ризик. Крім того, пережиті пожежі, втрата майна, загроза життю та здоров'ю, а також постійне занепокоєння через якість повітря можуть призвести до довгострокового психологічного стресу та психічних розладів, включаючи посттравматичний стресовий розлад (ПТСР), тривогу, депресію, особливо у тих, хто безпосередньо постраждав або був евакуйований.

Деякі групи населення є особливо вразливими до впливу диму лісових пожеж. Це діти, чий дихальні системи ще формуються, які дихають частіше, ніж дорослі, і проводять більше часу на свіжому повітрі, що робить їх особливо сприйнятливими до респіраторних проблем та потенційних довгострокових наслідків для розвитку легень. Люди похилого віку часто мають наявні хронічні захворювання серцево-судинної та дихальної систем, що підвищує їхню чутливість до забруднювачів. Особи з хронічними захворюваннями, такі як пацієнти з астмою, ХОЗЛ, серцевою недостатністю, діабетом, мають підвищений ризик загострення захворювань та серйозних ускладнень. Вагітні жінки також перебувають у зоні ризику; дослідження

вказують на можливий зв'язок між впливом диму пожеж під час вагітності та несприятливими наслідками для новонароджених, наприклад, низька вага при народженні або передчасні пологи. Люди з низьким соціально-економічним статусом часто не мають доступу до якісного медичного обслуговування, кондиціонерів або очищувачів повітря, що посилює їхню вразливість. І, безумовно, пожежники та рятувальники піддаються найвищому ризику гострого та хронічного впливу диму через безпосередній контакт [31-32].

Для зменшення негативного впливу лісових пожеж на здоров'я населення необхідний комплексний підхід. Він охоплює розбудову систем раннього попередження та інформування, що надають оперативну інформацію про якість повітря та рекомендації щодо захисту, наприклад, залишатися вдома чи використовувати респіратори. Важливою є своєчасна евакуація вразливих груп населення з небезпечних зон. Заходи захисту в приміщеннях, такі як використання очищувачів повітря з HEPA-фільтрами, закриття вікон і дверей та створення "чистих кімнат", можуть суттєво зменшити вплив диму. Необхідна також медична готовність, що забезпечує спроможність медичних установ до збільшення кількості пацієнтів з респіраторними та серцево-судинними проблемами. Постійні дослідження та моніторинг довгострокових наслідків для здоров'я та вдосконалення систем контролю якості повітря є невід'ємною частиною стратегії. І, звісно, ключовими є заходи щодо зменшення ризику виникнення пожеж, включаючи інвестиції у стале лісоуправління, профілактичні заходи та адаптацію до зміни клімату.

Лісові пожежі становлять зростаючу загрозу для глобального здоров'я. Їхній вплив на дихальну, серцево-судинну та нервову системи, а також потенційні довгострокові онкологічні та психологічні наслідки вимагають посиленої уваги з боку органів охорони здоров'я, науковців та політиків. Лише всебічні, інтегровані підходи, що охоплюють як запобігання пожежам, так і пом'якшення їхніх наслідків для здоров'я, є життєво необхідними для захисту населення в умовах зростаючої частоти та інтенсивності цих стихійних лих.

1.5. Стратегії відновлення природних територій після лісових пожеж

Лісові пожежі, що з кожним роком посилюються та розширюють свою географію під впливом глобальних змін клімату, становлять не просто екологічне лихо, а й дедалі більшу загрозу для природних біотопів. Вони завдають нищівної шкоди біорізноманіттю, ґрунтовому покриву, водним ресурсам та ландшафтам загалом. З огляду на зростаючу частоту й інтенсивність таких явищ, розробка та впровадження ефективних підходів до відновлення природних територій після вогняного спустошення набуває критичної ваги. Основна мета цих стратегій не зводиться до простого повернення екосистеми до її первісного стану, що нерідко є неможливим, а зосереджується на підвищенні її природної стійкості, екологічної функціональності та здатності до самовідновлення. Цей огляд наукових праць аналізує ключові методи післяпожежного відновлення, їхні переваги, недоліки та перспективи застосування.

Серед головних підходів, що розглядаються в наукових публікаціях, вирізняється природне відновлення, або стратегія "невтручання". Ця концепція базується на ідеї, що екосистеми, особливо ті, які історично співіснували з вогнем, мають вроджену здатність до самовідновлення. Вона передбачає мінімальне або повне усунення антропогенного впливу на процеси післяпожежної сукцесії, дозволяючи природним механізмам, таким як проростання насіння з ґрунтового банку, вегетативне відтворення уцілілих рослин, розселення насіння з прилеглих територій та діяльність тварин-розповсюджувачів, формувати нове біотичне співтовариство. Переваги природного відновлення очевидні: воно економічно вигідне завдяки мінімальним витратам, екологічно автентичне, оскільки зберігає природні процеси та генетичну структуру місцевих видів, і зводить до мінімуму будь-який додатковий антропогенний тиск на пошкоджену ділянку. Дослідження, підтверджують ефективність цього методу для екосистем, що еволюціонували разом з вогнем, де численні види мають пірофільні адаптації, такі як насіння,

що активується термічним впливом (серротинія), або здатність до швидкого відростання після пожежі за рахунок прихованих бруньок [33-34].

Однак, природне відновлення має й свої недоліки. Його ефективність може бути недостатньою при високій інтенсивності пожеж, які повністю знищують материнські рослини та ґрунтовий запас насіння, або при великих площах вигорілих ділянок, де відстань до джерел насіння є занадто великою. Зміна клімату також ускладнює природне відновлення, оскільки зростає частота посух та підвищуються температури, що може перешкоджати проростанню та виживанню молодих рослин. У таких несприятливих умовах екосистема може трансформуватися в інший стабільний стан, наприклад, перейти від лісу до чагарникової або трав'яної формації, що може бути небажаним з точки зору збереження екологічних послуг та біорізноманіття .

У випадках, коли природне відновлення є недостатнім або відбувається занадто повільно, застосовується активне відновлення, яке передбачає безпосереднє втручання людини. Найпоширенішим методом є лісорозведення (або лісовідновлення), що полягає у висаджуванні сіянців або саджанців на вигорілих ділянках. Його переваги очевидні: прискорене відновлення лісового покриву, можливість контролювати видовий склад (шляхом обрання більш стійких або цінніших порід) та сприяння утриманню вуглецю. Проте цей метод є капіталомістким, вимагає значних трудових ресурсів і може виявитися неефективним, якщо не враховувати місцеві екологічні чинники (ґрунти, клімат) та генетичну відповідність посадкового матеріалу. Серед проблем також варто зазначити низьку приживаність саджанців через несприятливі умови після пожежі та потребу в постійному догляді, як-от захист від шкідників.

Альтернативним підходом є стимулювання природного відновлення, що поєднує елементи як природних процесів, так і активного втручання. Він передбачає проведення заходів, що сприяють природному проростанню насіння та виживанню молодих рослин, включаючи підготовку ґрунту (розпушування, видалення конкуруючої рослинності), контроль конкуруючих

видів (бур'янів), захист від шкідників, а іноді й додатковий посів насіння. Цей метод вважається більш екологічно обґрунтованим, ніж лише посадка, оскільки він підтримує природні процеси та генетичне різноманіття місцевих видів [35].

Крім того, надзвичайно важливими є відновлення ґрунтового покриву та заходи проти ерозії, адже пожежі можуть значно пошкоджувати ґрунт, руйнуючи органічний шар, змінюючи його структуру та гідрологічні властивості, що робить його вразливим до ерозійних процесів. Стратегії включають розкладку залишків деревини (для створення проти ерозійних бар'єрів), гідропосів (посів трав з використанням мульчі та води), терасування, створення мікробасейнів для утримання вологи та посів швидкозростаючих трав'янистих рослин для стабілізації ґрунту. Не менш значущим є відновлення водного режиму, оскільки пожежі можуть порушувати гідрологічний цикл у водозборах, збільшуючи поверхневий стік та ризик повеней. Заходи можуть включати будівництво невеликих дамб, відновлення русел струмків та річок, а також сприяння відновленню водно-болотних угідь.

Процес післяпожежного відновлення зіштовхується з низкою значних викликів. Серед них – адаптація до зміни клімату та забезпечення майбутньої стійкості. Традиційні підходи до відновлення, що прагнуть повернути територію до минулого стану, можуть виявитися неефективними в умовах мінливого клімату. Необхідно розробляти стратегії, орієнтовані на кліматично-стійке відновлення, що передбачає використання більш посухостійких та вогнестійких видів або адаптацію до зміщених кліматичних зон. Крім того, вигорілі території надзвичайно вразливі до заселення інвазійними видами рослин, які можуть швидко займати звільнені екологічні ніші, перешкоджаючи відновленню місцевої флори та фауни; тому управління інвазійними видами є ключовим компонентом відновлення. Економічні та соціальні аспекти також становлять значний виклик, оскільки відновлення великих територій вимагає значних фінансових ресурсів та активної участі місцевих громад; важливо враховувати соціально-економічні потреби

місцевого населення та інтегрувати їх у процес відновлення. Постійний моніторинг та оцінка ефективності застосованих стратегій є критично важливими для внесення необхідних коректив, а використання дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем (ГІС) стає дедалі поширенішим інструментом для великомасштабного спостереження. Нарешті, впровадження нових технологій, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА) для посіву насіння, передові методи боротьби з ерозією та точне лісівництво, відкриває нові перспективи для більш ефективного та економічно вигідного відновлення [36].

Для України, яка регулярно стикається з лісовими пожежами, особливо у посушливих регіонах та на територіях, що постраждали від військових дій, розробка та впровадження сучасних стратегій відновлення є нагальною необхідністю. Хоча українська лісогосподарська наука та практика мають значний досвід у лісовідновленні, необхідно активно інтегрувати міжнародний доробок, особливо щодо кліматично-стійкого відновлення та врахування екологічних послуг. Особливу увагу слід приділити відновленню пошкоджених територій, що знаходяться в зоні бойових дій, де мінна небезпека та забруднення можуть обмежувати можливості для активного втручання; у таких умовах природне відновлення та дистанційний моніторинг можуть стати ключовими інструментами.

Таким чином, відновлення природних територій після лісових пожеж – це складний, багатогранний процес, що вимагає інтегрованого підходу. Вибір оптимальної стратегії – чи то природне, чи активне відновлення, чи їхнє розумне поєднання – залежить від інтенсивності пожежі, типу екосистеми, масштабу ураження, наявних ресурсів та майбутніх кліматичних прогнозів. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на розробку більш гнучких та адаптивних стратегій, що враховуватимуть мінливі умови клімату, а також на впровадження інноваційних технологій для прискорення та підвищення ефективності відновлювальних робіт. Лише системний та науково

обґрунтований підхід дозволить відновити життєво важливі екосистемні послуги лісів та забезпечити їхню стійкість до майбутніх загроз.

Таблиця 1.

Кількість та площа лісових пожеж в Україні (2021-2023 рр.)

Рік	Кількість пожеж (од.)	Площа, пройдена вогнем (тис. га)	Збільшення кількості до 2021 року	Збільшення площі до 2021 року	Основне джерело
2021	660	0,3	-	-	Держстат/skilky-skilky.info
2022	1052	15,8	+21,5%	+5200% (у 52 рази)	Держстат/skilky-skilky.info
2023	1278	51,0	+93,6%	+17000% (у 170 разів)	Держстат/skilky-skilky.info

Джерело: Державна служба статистики України, <https://skilky-skilky.info/u-2023-rotsi-lisovi-pozhezhi-okhopyly-v-3-razy-bilshu-terytoriiu/>.

РОЗДІЛ II

МЕТОДОЛОГІЇ ТА ІНСТРУМЕНТИ СУЧАСНОЇ ОЦІНКИ ШКОДИ ВІД ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Визначення розміру збитків від лісових пожеж – це складне й багатоаспектне завдання, яке далеко виходить за рамки елементарного підрахунку прямих фінансових втрат. В епоху зростаючої частоти та інтенсивності лісових пожеж, спровокованих як кліматичними змінами, так і діяльністю людини, включно з військовими діями, виникає нагальна потреба у впровадженні комплексних та високоточних методик й інструментів для всебічного визначення їхніх наслідків. Сучасний підхід до оцінювання збитків охоплює не лише безпосередні економічні втрати, а й екологічні, соціальні та довгострокові впливи.

2.1. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС)

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є ключовим елементом сучасної оцінки впливу лісових пожеж, забезпечуючи швидкий та широкомасштабний моніторинг і аналіз. Його використання дозволяє оперативно встановлювати площі вигорілих ділянок, ступінь інтенсивності вогню та динаміку відновлення ландшафту.

Супутникові зображення: Головними джерелами даних є світлини з супутників, таких як Landsat (Landsat 8, 9), Sentinel (Sentinel-2), MODIS (Terra/Aqua), а також комерційних супутників (RapidEye, Planet Labs). Ці платформи надають мультиспектральні зображення з різною просторовою та часовою роздільною здатністю, що уможлиблює відстеження змін на поверхні Землі. Наприклад, дані Landsat-8, оснащеного Операційним датчиком руху (OLI) та тепловим інфрачервоним датчиком (TIRS), дозволяють отримувати мультиспектральні канали з роздільною здатністю 30 метрів, чого цілком достатньо для моніторингу значних лісових масивів.

Індекси рослинного покриву: Для оцінки ураження рослинності та інтенсивності горіння активно застосовуються вегетаційні індекси. Найбільш

поширеним для післяпожежного аналізу є Нормалізований індекс згарища (Normalized Burn Ratio – NBR) та його похідні (dNBR). NBR обчислюється на основі відмінностей у відбивальній здатності рослинності у ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах. Високі значення NBR свідчать про здорову рослинність, тоді як низькі (або від'ємні) – про вигорілі ділянки. Порівняння NBR до та після пожежі (dNBR) дозволяє кількісно оцінити ступінь вигорання. Інші індекси, як-от NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), також використовуються для відстеження динаміки змін лісового покриву та його відновлення [37].

Геоінформаційні системи (ГІС): ГІС є невід'ємним інструментарієм для обробки, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних, отриманих за допомогою ДЗЗ. Програмне забезпечення, таке як QGIS (вільне ПЗ з відкритим кодом) або ArcGIS (комерційна система), дозволяє інтегрувати різноманітні шари інформації: карти рослинності, ґрунтів, гідрографічної мережі, інфраструктури, дані про погодні умови. Це дає змогу здійснювати комплексний аналіз взаємозв'язків між чинниками пожежі та її наслідками, моделювати ерозійні процеси, прогнозувати поширення вогню та планувати відновлювальні заходи.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА): Сучасні дрони, оснащені мультиспектральними, тепловізійними або RGB-камерами, дають змогу отримувати високодеталізовані зображення згарищ. Це особливо корисно для локальної оцінки шкоди, визначення наявності активних вогняних осередків, оцінки стану ґрунту та рослинності на невеликих, але критично важливих ділянках. БПЛА можуть застосовуватися як для виявлення пожеж, так і для аналізу ситуації після них, візуалізації спаленої області.

2.2. Математичне моделювання та прогнозування

Математичне моделювання відіграє ключову роль у осмисленні динаміки пожеж та прогнозуванні їхніх наслідків, а також у кількісній оцінці потенційних збитків.

Моделі поширення вогню: Ці моделі симулюють рух вогняного фронту, беручи до уваги такі чинники, як рельєф, тип паливних матеріалів, швидкість та напрямок вітру, вологість. Вони дозволяють передбачати площу та інтенсивність горіння, що є важливим для оперативної оцінки збитків та планування гасіння. На основі таких моделей можлива розробка практичних планів локалізації та приборкання лісових пожеж.

Моделі впливу на якість повітря: Післяпожежний дим є джерелом значного атмосферного забруднення. Моделі розсіювання забруднюючих речовин (наприклад, HYSPLIT) прогнозують траєкторію та концентрацію диму, твердих частинок (PM2.5) та газоподібних продуктів горіння на значних відстанях. Це дає змогу оцінити вплив пожеж на здоров'я населення та спланувати заходи захисту.

Гідрологічні та ерозійні моделі: Пожежі змінюють гідрологічний режим та стан ґрунту, що може призвести до посилення ерозії, селевих потоків та повеней. Моделі, такі як RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) або інші гідрологічні моделі, дозволяють прогнозувати обсяги втрат ґрунту та зміни у водному стоку, що є критично важливим для оцінки довгострокової шкоди та планування відновлення.

Моделі оцінки економічних втрат: Математичні моделі можуть інтегрувати дані про втрати деревини, екосистемних послуг, збитки для інфраструктури та здоров'я населення для розрахунку загальних економічних наслідків пожеж. Ці моделі дозволяють проводити оцінку техногенного ризику та шукати оптимальні форми управління екологічною безпекою.

2.3. Використання штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН)

Розвиток штучного інтелекту та машинного навчання відкриває нові можливості для більш точного та автоматизованого оцінювання шкоди від лісових пожеж.

Виявлення та класифікація займань: Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати значні обсяги супутникових даних у реальному часі для швидкого виявлення нових вогнищ та класифікації типів пожеж (низові, верхові), а також їхньої інтенсивності.

Прогнозування ризиків: ШІ може обробляти метеорологічні дані, інформацію про стан рослинності, рельєф та історію пожеж для прогнозування пожежної небезпеки та ймовірності виникнення нових займань.

Оцінка вигорілих територій та інтенсивності: Моделі машинного навчання можуть автоматично сегментувати зображення та класифікувати ступені пошкодження лісового покриву, що суттєво прискорює процес оцінювання. Нейронні мережі сприяють моделюванню та прогнозуванню характеру відтворення лісів.

Оцінка екосистемних послуг: Машинне навчання може застосовуватися для моделювання та кількісної оцінки змін в екосистемних послугах після пожежі, таких як вуглецеве депонування, водорегуляція, збереження біорізноманіття.

Моніторинг відновлення: Алгоритми ШІ можуть відстежувати процеси природного відновлення та ефективність заходів з лісовідновлення, аналізуючи динаміку змін у рослинному покриві та ґрунті.

2.4. Економічна оцінка екосистемних послуг

Сучасна економічна оцінка збитків виходить за рамки традиційних прямих втрат, включаючи монетизацію втрачених екосистемних послуг.

Метод умовної оцінки (Contingent Valuation Method – CVM): Використовується для визначення вартості нематеріальних послуг (наприклад, рекреаційні функції лісу, естетична цінність, збереження біорізноманіття) шляхом опитування населення щодо їхньої готовності платити за збереження або відновлення цих послуг (або їхньої готовності прийняти компенсацію за їхню втрату).

Метод похідного попиту (Travel Cost Method – TCM): Оцінює вартість рекреаційних послуг лісу на основі витрат, які несуть люди, щоб дістатися до

лісової території. Метод гедоністичних цін (Hedonic Pricing Method – HPM): Аналізує, як екологічні характеристики (наприклад, близькість до лісу, якість повітря) впливають на ціни на нерухомість, дозволяючи оцінити вартість цих екологічних благ. Метод відновлювальних витрат (Replacement Cost Method): Оцінює збитки від втрати екосистемних послуг через витрати, необхідні для їхнього відновлення або заміни (наприклад, вартість посадки нового лісу для компенсації втрат вуглецевого депонування).

Вартість запобігання шкоді (Averted Damage Cost Method): Оцінює вартість запобігання потенційній шкоді, яка могла б виникнути без існування певної екосистемної послуги (наприклад, вартість запобігання ерозії, яку забезпечує лісовий покрив).

Методологічна суміш: Для більш повної та точної оцінки екосистемних послуг, які не мають прямої ринкової вартості, часто застосовують комбінацію прямої та непрямой ринкової оцінки.

2.5. Інтегровані системи моніторингу та оцінки

Сучасна тенденція полягає у створенні інтегрованих систем, що поєднують різні методології та інструменти для всебічного моніторингу та оцінки.

Платформи для моніторингу: Розробляються цифрові платформи (наприклад, EOSDA Forest Monitoring), що дозволяють відстежувати стан лісових ділянок у будь-якій точці світу, використовуючи супутникові дані, нейронні мережі для моделювання та прогнозування. Це забезпечує надійний та точний моніторинг лісів для сталого управління.

Системи раннього виявлення: Комплексні системи, що поєднують відеонаглядові камери, супутникове спостереження, БПЛА та IoT-пристрої (з датчиками температури, CO₂ тощо), дозволяють оперативно виявляти займання та надавати дані для оцінки початкової шкоди.

Багатофакторний аналіз даних: Інтегровані системи використовують методи багатофакторного аналізу та головних компонентів для зниження

розмірності даних та виявлення ключових чинників, що впливають на виникнення пожеж та їхні наслідки.

Координація між установами: Ефективність інтегрованих систем залежить від належної координації між різними установами та обміну даними.

Незважаючи на значний прогрес, у сфері оцінки шкоди від лісових пожеж існують суттєві виклики. Серед них – невизначеність та комплексність взаємозв'язків в екосистемах, що ускладнює точну кількісну оцінку довгострокових наслідків. Відсутність єдиних стандартизованих методик на міжнародному рівні ускладнює порівняння даних між регіонами. Доступність даних, особливо в умовах воєнних конфліктів, є значним обмежуючим фактором. Крім того, оцінка нематеріальних втрат, таких як естетична цінність або психологічний вплив, залишається складним завданням [38].

Перспективи розвитку включають подальше удосконалення моделей для більш точного прогнозування, активне використання штучного інтелекту для автоматизації процесів аналізу та прогнозування, розробку нових методів оцінки екосистемних послуг та поглиблення міжнародної співпраці для обміну досвідом та стандартизації підходів.

Сучасні методології та інструменти оцінки шкоди від лісових пожеж значно розширилися, охоплюючи не лише прямі економічні збитки, а й широкий спектр екологічних та соціальних наслідків. Застосування дистанційного зондування, ГІС, математичного моделювання, штучного інтелекту та передових методів економічної оцінки екосистемних послуг дозволяє отримати більш повну та достовірну картину впливу пожеж. Інтегровані системи моніторингу та оцінки, що поєднують ці інструменти, є ключем до ефективного управління ризиками, планування відновлювальних робіт та розробки адаптивних стратегій для забезпечення стійкості лісових екосистем у майбутньому.

Визначення збитків, завданих доквіллю вогнем, — це багатогранний процес, що спирається на спеціальні правила та правові норми. В Україні,

особливо зважаючи на військові дії, які стали джерелом руйнівних пожеж, ця процедура набула особливої актуальності.

2.6. Регулювання оцінки збитків від пожеж в Україні

Збитки для навколишнього середовища від пожежі оцінюються не лише за прямими втратами (наприклад, вартість знищеного лісу), а й через непрямі та довгострокові наслідки, що впливають на природні системи та людське здоров'я. Сюди можна віднести:

Забруднення повітря: викиди шкідливих речовин, кіптяви, парникових газів.

Руйнування ґрунту: зміна хімічного складу, вигорання органіки, посилення ерозії.

Забруднення водойм: потрапляння попелу та шкідливих домішок у річки й озера.

Втрата біорізноманіття: загибель тварин і рослин, знищення їхніх природних оселищ.

Деградація лісів: знищення лісових масивів, порушення здатності екосистем до самовідновлення.

Шкода заповідним територіям: унікальні природні комплекси несуть непоправні втрати.

В Україні для розрахунку шкоди, завданої пожежами довкіллю, застосовуються спеціальні методики та нормативно-правові акти, затверджені Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України та іншими відповідними відомствами.

Особливо значущими є документи, розроблені після початку повномасштабної війни, які враховують екологічні втрати, спричинені агресією. Зокрема: Постанова Кабінету Міністрів України від 26.12.2003 № 2030 "Про затвердження Порядку обліку пожеж та їх наслідків". Цей акт є базовим для реєстрації пожеж та визначення їхніх прямих і непрямих збитків.

Наказ Міндовкілля від 05.10.2022 № 414 "Про затвердження Методики визначення шкоди та збитків, заподіяних лісовому фонду внаслідок збройної

агресії Російської Федерації". Це ключовий документ для оцінки шкоди лісам від пожеж, спричинених війною. Він враховує вартість втраченої деревини, витрати на відновлення та екологічні збитки.

Наказ Міндовкілля від 13.04.2022 № 175 "Про затвердження Методики розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин... в атмосферне повітря... та визначення розмірів завданої шкоди". Ця методика дозволяє обчислити обсяги викидів в атмосферу від пожежі та оцінити шкоду повітрю.

Наказ Міндовкілля від 04.04.2022 № 167 "Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам...". Цей документ слугує для оцінки збитків, завданих ґрунтам вогнем.

Наказ Міндовкілля від 21.07.2022 № 252 "Про затвердження Методики визначення збитків, заподіяних внаслідок забруднення та/або засмічення вод...". Хоча пожежі не є прямою причиною забруднення вод, їх наслідки (попіл, хімікати) можуть впливати на водойми, і ця методика може бути застосована для оцінки таких збитків.

Процедура визначення шкоди зазвичай передбачає такі етапи:

Фіксація події: Складання акту про пожежу представниками ДСНС.

Огляд території: Експерти Державної екологічної інспекції України, лісового господарства та інших органів оглядають місце пожежі, збираючи інформацію про площу, інтенсивність та тип рослинності.

Відбір зразків: За необхідності відбираються проби ґрунту, води, повітря для лабораторного аналізу на вміст забруднюючих речовин.

Застосування розрахунків: На основі зібраних даних та результатів аналізів застосовуються відповідні методики для обчислення розміру шкоди.

Формування документації: Складається офіційний звіт про оцінку збитків, який може бути використаний для притягнення винних до відповідальності та стягнення компенсації.

РОЗДІЛ III

РОЗРАХУНОК ШКОДИ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ ВНАСЛІДОК ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ.

3.1. Характеристика об'єкта дослідження.

Новосанжарська територіальна громада була заснована у 2017 році внаслідок об'єднання Новосанжарської селищної та Зачепилівської сільської рад. У 2020 році, після місцевих виборів 25 жовтня, її склад значно розширився: згідно з Перспективним планом формування територій громад Полтавської області, затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13.05.2020 № 571-р, до громади приєдналися 8 сільських рад та 2 об'єднані територіальні громади, сформувавши нову адміністративно-територіальну одиницю.

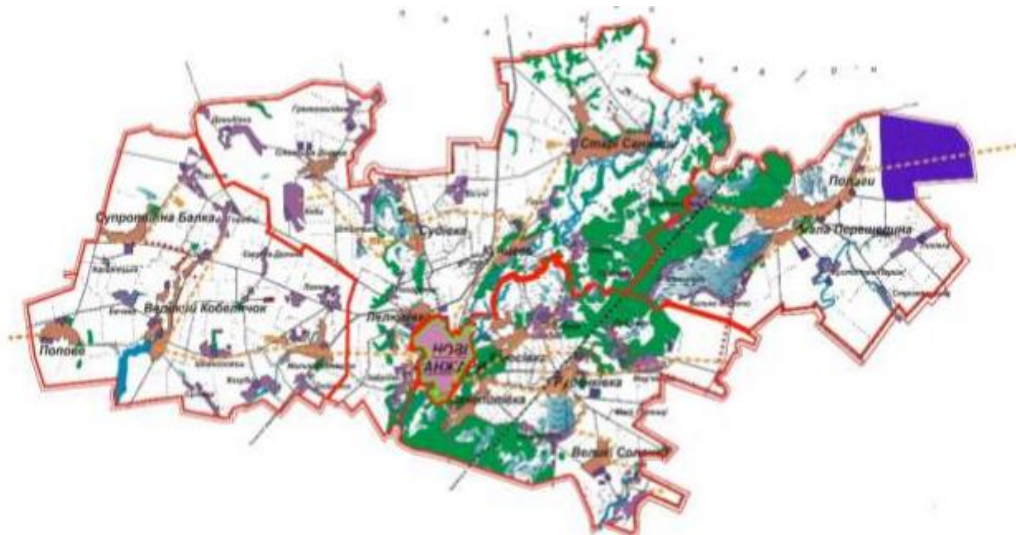


Рис. 4. Схема Новосанжарської територіальної громади.

Згідно з рішенням чотирнадцятої позачергової сесії Новосанжарської селищної ради восьмого скликання від 26.10.2021 № 311 "Про утворення старостинських округів", на території громади було виділено чотири старостинські округи: Малокобелячківський, Малоперещепинський, Лелюхівський та Руденківський. До складу Новосанжарської територіальної громади входить 47 населених пунктів, серед яких селище міського типу Нові Санжари та села Зачепилівка, Ключівка, Малий Кобелячок, Горобці, Ємцева Долина, Лахни, Олійники, Великі Солонці, Пологи-Низ і Супротивна Балка.

Загальна площа території Новосанжарської селищної ради становить 669,7 км².

Географічні та гідрологічні особливості. Географічно Новосанжарська територіальна громада розташована у межах лісостепової зони Придніпровської низовини. Місцевий ландшафт переважно горбистий, подекуди складний, із численними долинами, балками та ярами. Через територію громади протікає п'ять річок загальною довжиною 61,60 км, зокрема річка Ворскла (34,68 км), річка Ворона (6,06 км), річка Кустолове (16,35 км), річка Тагамлик (0,88 км) та річка Полузір'я (3,63 км).

Землі водного фонду на території громади займають 3 641,7444 га, що становить 18,15% від її загальної площі. З них 810,61 га припадає на водні об'єкти, а 2 831,1344 га – на болота. Загалом на території громади налічується 158 озер сукупною площею 209,6994 га, а також 82 ставки, що займають 248,2205 га.

Клімат та ґрунти. Клімат громади є помірно-континентальним, здебільшого м'яким і достатньо вологим. Зима характеризується невеликою кількістю снігу та порівняно теплою погодою, тоді як літо – тепле й помірно вологе. Середньорічна температура повітря коливається в межах 7,6 – 8,6°C. У структурі земель Новосанжарської територіальної громади домінують чорноземи – найпродуктивніші типи ґрунтів. Сільськогосподарські угіддя складають 76,8% від усіх земель громади. Потенційно забрудненими територіями, де можливе перевищення нормативних гранично-допустимих показників за бактеріологічними та хімічними параметрами, є полігон/сміттєзвалище твердих побутових відходів поблизу села Зачепилівка, а також несанкціоновані звалища та комунальні каналізаційні очисні споруди. Значна розораність земель громади, що використовуються під рілля та городи, а також наявність ярів і крутосхилів, сприяють деградації та ерозії ґрунтів, а також виникненню пилових буревіїв.

Природно-заповідний фонд та лісові масиви. Природно-заповідний фонд громади представлений Малоперещепинським ботанічним заказником

загальнодержавного значення, що займає 640 га, а також 10 об'єктами природно-заповідного фонду місцевого значення, загальною площею 2697 га. На території Новосанжарської селищної територіальної громади також розташовані об'єкти "Смарагдової мережі" – екологічної мережі, що включає території особливого природоохоронного інтересу. Їхня мета – забезпечення довгострокового виживання видів та збереження їхніх місць проживання відповідно до Бернської конвенції, що передбачає конкретні захисні заходи та систематичний контроль їхньої ефективності.

III. Заказники загальнодержавного значення

Назва об'єкту	Категорія	Площа (га)	Місцезнаходження заповідного об'єкту	Постанова, рішення, згідно якої створено даний об'єкт
МАЛОПЕРЕЩЕПИНСЬКИЙ	Ботанічний	640,0	Н.Санжарський р-н, між селами М.Перещепина та Маньківка	Постанова РМ УРСР №132 від 25.02.1980

IV. Території та об'єкти природно-заповідного фонду місцевого значення

№ п/п	Назва об'єкта	Категорія	Площа (га)	Місцезнаходження заповідного об'єкту	Постанова, рішення, згідно якої створено даний об'єкт
1	Новосанжарський	Заказник ландшафтний	1112	Новосанжарське лісництво, кв.1-4,6,11,13,15-25,42	Рішення облради від 27.10.1994
2	Зачепилівський	Заказник	826,8	околиці с.Зачепилівка	Рішення облради від

18

		ботанічний			27.10.1994 Рішення облради від 14.01.2002
3	Середній	Заказник загальнозоологічний	130,7	неподалік сіл Судівка, Лелюхівка та Назаренки	Рішення облради від 15.08.2003
4	Ревазівський	Заказник гідрологічний	300	с.Руденківка	Рішення облвиконкому №437 від 16.11.1979
5	Парк відпочинку	Пам'ятка природи ботанічна	3,4	смт. Нові Санжари	Рішення облвиконкому №329 від 22.07.1969
6	Рудні піски	Пам'ятка природи геологічна	0,5	с.Кунцево, південна околиця, Новосанжарське лісництво, кв.48 вид.1	Рішення облвиконкому № 437 від 16.11.1979
7	Мазанка	Заказник загальнозоологічний	191,7	між с.Кунцево та Балівка	Рішення облради від 23.03.2005
8	Вовчі Гори	Пам'ятка природи ботанічна	11,9	східна околиця с.Лелюхівка	Рішення облради від 23.03.2005
9	Сьомківщина	Заказник загальнозоологічний	275,0	заплава р. Різничка разом з прилеглою до неї системою заплавлених озер в районі сіл Грекопавлівка, Дмитренки, Полузір'я та Білоконі	Рішення облради від 06.09.2007
10	Тетянин гай	Заказник ентомологічний	11,9	заплава р. Ворскла в районі с. Ключівка та смт. Нові Санжари	Рішення облради від 06.09.2007

Рис. 5. Інформація щодо заказників загальнодержавного значення

Лісові масиви Новосанжарської територіальної громади охоплюють 1872,5623 га земель, що становить 2,83% від загальної площі громади. Серед

Флора, фауна та біорізноманіття. Флора Новосанжарської громади налічує близько тисячі видів різних систематичних груп рослин. Серед них значна частина видів покритонасінних, 3 види голонасінних, 16 видів папоротеподібних, 9 видів хвощів, 3 види плаунів, а також по 160 видів мохів і лишайників. Основними природними рослинними угрупованнями є ліси, луки, болота, степи та водна рослинність. Сучасний рослинний покрив громади суттєво відрізняється від природного стану через інтенсивну господарську діяльність: ліси на значних площах були вирубані, а степи майже повністю розорані. Це спричинило зміни у видовому складі та поширенні рослин і тварин. Домінуючими стали агрокультурні та польові бур'яни, рудеральна рослинність і штучні деревні насадження.

Тваринний світ громади характеризується переважанням лісостепових видів зі значною часткою неморальних та синантропних. Наприклад, ядро орнітофауни формують грак, сіра ворона, сорока, зеленяк, щиглик, коноплянка, вівсянка звичайна, щеврик лісовий, сорокопути — жулан і чорнолобий, припутень, горлиця звичайна, дремлюга, одуд, сова вухата, канюк звичайний, лелека білий, які є типовими мешканцями Лісостепу. Із неморальних видів птахів присутні яструб великий, сова сіра, крутиголовка, дятел великий строкатий, сойка, кропивник (волове очко), повзик, костогриз та інші. За останні століття фауна Полтавщини зазнала значних змін: зникли характерні зональні види (бабак степовий, полівка степова, канюк степовий, кречітка, стрепет, тетерук та інші). Водночас, окремі види були успішно акліматизовані (олень благородний, лань, єнот уссурійський, білий амур, ондатра, товстолоб білий) або реакліматизовані (бобер європейський, лось, свиня дика, бабак степовий). Більшість акліматизованих чи реакліматизованих видів мають важливе значення як мисливські ресурси.

3.2. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок лісової пожежі.

Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення

надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди визначає порядок розрахунку обсягу нерегульованих викидів шкідливих речовин або їхніх сумішей в атмосферу, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану. Та встановлює механізм визначення розміру збитків, спричинених цими викидами. Фактичним забрудненням атмосфери вважається будь-який випадок, коли внаслідок надзвичайної ситуації та/або під час воєнного стану відбувається несанкціонований викид забруднюючих речовин чи їх сумішей з джерела в повітря.

Розрахунок маси неорганізованих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря внаслідок встановлення факту загоряння лісових та інших насаджень, виконується за формулою:

$$M_i \text{ викид} = q_i \times S,$$

i – забруднююча речовина або суміш таких речовин;

q_i – питомий показник викиду забруднюючої речовини або суміші таких речовин, визначається згідно з додатком 1 цієї Методики, т/Га;

S – площа пожежі, Га

$$M_{\text{NO}_x} = 0.1 * 750 = 75 \text{ т}$$

$$M_{\text{NH}_3} = 0.02 * 750 = 15 \text{ т}$$

$$M_{\text{SO}_x} = 0.02 * 750 = 15 \text{ т}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 712.8 * 750 = 534600 \text{ т}$$

$$M_{\text{CO}} = 3 * 750 = 2250 \text{ т}$$

$$M_{\text{NMVOC}} = 0.3 * 750 = 225 \text{ т}$$

$$M_{\text{ТВ РЕЧ}} = 5,4 * 750 = 4050 \text{ т}$$

$$M_{\text{Pb}} = 0.000097 * 750 = 0.07275 \text{ т}$$

$$M_{\text{NO}_x} = 0.1 * 750 = 75 \text{ т}$$

$$M_{\text{Cd}} = 0.000008 * 750 = 0.006 \text{ т}$$

$$M_{\text{Hg}} = 0.000007 * 750 = 0.00525 \text{ т}$$

$$M_{As} = 0.000044 * 750 = 0.033 \text{ т}$$

$$M_{Cr} = 0.000042 * 750 = 315 \text{ т}$$

$$M_{Cu} = 0.000099 * 750 = 0.07425 \text{ т}$$

$$M_{Ni} = 0.000067 * 750 = 0.05025 \text{ т}$$

$$M_{Se} = 0.000006 * 750 = 0.045 \text{ т}$$

$$M_{Zn} = 0.00085 * 750 = 0.6375 \text{ т}$$

$$M_{\text{бензпірен}} = 0.000005 * 750 = 0,00375 \text{ т}$$

$$M_{\text{заг}} = 541231,24 \text{ т}$$

3.3. Розрахунок розмірів шкоди, завданої неорганізованими викидами забруднюючих речовин або сумішей таких речовин в атмосферне повітря внаслідок лісової пожежі.

$$R_{\text{ш}} = M_{\text{і викид}} \times C_{\text{п}} \times K_{\text{неб}} \times K_{\text{в}} \times K_{\text{мп}} \times K_{\text{пп}},$$

$R_{\text{ш}}$ - розмір шкоди;

$M_{\text{і}}$ – маса неорганізованого викиду забруднюючої речовини або суміші таких речовин в атмосферне повітря, внаслідок надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану, т;

$C_{\text{п}}$ – ставка податку за неорганізовані викиди забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря відповідно до ст. 243 Податкового кодексу України, грн/т;

$K_{\text{неб}}$ – коефіцієнт класу небезпеки забруднюючих речовин або суміші таких речовин, визначається згідно з додатком 3 до цієї Методики;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт впливу на довкілля в залежності від тривалості події, визначається згідно з додатком 4 до цієї Методики;

$K_{\text{мп}}$ – коефіцієнт, що залежить від масштабу подій, визначається згідно з додатком 5 до цієї Методики;

K_{III} – коефіцієнт, що залежить від характеру походження події, визначається згідно з додатком 6 до цієї Методики.

$$P_{\text{III}_{\text{NO}_x}} = 75 * 2574.43 * 3 * 3 * 1 * 10 = 17377402.5 \text{ грн.}$$

$$P_{\text{III}_{\text{NH}_3}} = 15 * 482,84 * 2 * 3 * 1 * 10 = 434556 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{SO}_x}} = 15 * 2574.43 * 3 * 3 * 1 * 10 = 3475480.5 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{CO}_2}} = 534600 * 30 * 2 * 3 * 1 * 10 = 962280000 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{CO}}} = 2250 * 96.99 * 2 * 3 * 1 * 10 = 13093650 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{NMVOC}}} = 225 * 145.5 * 2 * 3 * 1 * 10 = 1964250 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Pb}}} = 0.07275 * 109127.84 * 5 * 3 * 1 * 10 = 1190857.55 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Cb}}} = 0.006 * 20376.23 * 5 * 3 * 1 * 10 = 1833.50 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Hg}}} = 0.00525 * 109127.84 * 5 * 3 * 1 * 10 = 85938.174 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{As}}} = 0.033 * 421.92 * 4 * 3 * 1 * 10 = 16699.00 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Cr}}} = 0.315 * 69113.38 * 5 * 3 * 1 * 10 = 3265607.2 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Cu}}} = 0.07425 * 4216.92 * 4 * 3 * 1 * 10 = 37572.75 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Ni}}} = 0.05025 * 103816.62 * 4 * 3 * 1 * 10 = 626014.21 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Se}}} = 0.045 * 18413.24 * 5 * 3 * 1 * 10 = 124289.4 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{Zn}}} = 0.6375 * 628.32 * 3 * 3 * 1 * 10 = 36049.86 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{бензпірен}}} = 0.00375 * 3277278.63 * 5 * 3 * 1 * 10 = 1843469.22 \text{ грн}$$

$$P_{\text{III}_{\text{заг}}} = 1041206524,864 \text{ грн}$$

ВИСНОВКИ

Проведена оцінка завданої шкоди довкіллю внаслідок лісової пожежі на території Новосанжарської територіальної громади виявила негативні наслідки, що охоплюють як екологічні, так і значні економічні збитки. Новосанжарська територіальна громада, з її унікальним географічним положенням у лісостеповій зоні Придніпровської низовини, значним водним фондом та високопродуктивними чорноземами, є цінним природним і сільськогосподарським регіоном. Водночас, її ландшафтні особливості (горбиста поверхня, балки, яри), інтенсивне сільськогосподарське використання земель, а також наявність потенційних джерел забруднення (сміттєзвалища) створюють підвищені ризики деградації ґрунтів та швидкого поширення пожеж. Присутність об'єктів природно-заповідного фонду та включення до "Смарагдової мережі" свідчить про високу екологічну цінність території, що робить її особливо вразливою до руйнівних наслідків пожеж.

Відповідно до проведених розрахунків, лісова пожежа на площі 750 гектарів призвела до колосальних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, загальна маса яких склала 541 231,24 тонни. Лівова частка цих викидів припадає на діоксид вуглецю (CO₂) – 534 600 тонн, що має прямий та суттєвий вплив на посилення парникового ефекту та глобальне потепління. Крім того, були зафіксовані значні обсяги викидів твердих речовин (4 050 тонн), що становлять пряму загрозу для дихальної системи людини та погіршують якість повітря на великих територіях. Виявлені також значні викиди оксиду вуглецю (2 250 тонн), неметанових летких органічних сполук (225 тонн), оксидів азоту (75 тонн) та сірки (15 тонн), які є прекурсорами смогу, кислотних дощів та інших небезпечних атмосферних явищ. Особливу небезпеку становлять викиди важких металів (свинцю, кадмію, ртуті, хрому, міді, нікелю, селену, цинку) та канцерогенних сполук, таких як бензпірен. Хоча їхня маса менша, їхня висока токсичність та кумулятивний ефект створюють довгострокові загрози для здоров'я населення та екосистем.

Загальний розмір шкоди, завданої довкіллю внаслідок лісової пожежі, оцінюється у вражаючу суму – 1 041 206 524,864 гривень. Ця цифра чітко ілюструє, що лісові пожежі – це не просто екологічна проблема, а й величезне економічне навантаження на державу та суспільство. Переважна частка цієї суми – 962 280 000 гривень – припадає на збитки від викидів діоксиду вуглецю, що підкреслює глобальну значущість лісів як поглиначів вуглецю та важливість їх збереження для виконання міжнародних кліматичних зобов'язань.

Висока вартість шкоди від викидів окремих важких металів та канцерогенних речовин, таких як хром (3 265 607,2 грн) та бензпірен (1 843 469,22 грн), свідчить про те, що коефіцієнт класу небезпеки цих сполук суттєво впливає на кінцеву суму збитків. Це підкреслює необхідність не лише контролювати загальний обсяг викидів, а й звертати особливу увагу на їхній якісний склад та потенційний токсичний вплив на здоров'я людини.

Окрім прямих економічних втрат, лісові пожежі спричиняють значні непрямі та соціальні збитки, які важко піддаються монетизації. Це включає втрату екосистемних послуг (регулювання водного балансу, ґрунтозахисні функції, збереження біорізноманіття, рекреаційний потенціал), а також прямий вплив на здоров'я населення (гострі та хронічні респіраторні та серцево-судинні захворювання, онкологічні ризики, психологічні травми). Особливо вразливими до цих наслідків є діти, літні люди та особи з хронічними захворюваннями.

Результати цього дослідження є переконливим аргументом для посилення заходів із запобігання лісовим пожежам та ефективного управління їхніми наслідками. Необхідно:

Приділяти пріоритетну увагу превентивним заходам: Інвестиції у системи раннього виявлення пожеж (дистанційне зондування, дрони), покращення матеріально-технічної бази пожежних служб, регулярні профілактичні випалювання та просвітницька робота серед населення є економічно вигіднішими, ніж ліквідація наслідків.

Вдосконалювати методики оцінки шкоди: Подальші дослідження мають бути спрямовані на більш точну кількісну оцінку непрямих та соціальних збитків, а також на розробку національних стандартів для комплексної оцінки впливу лісових пожеж.

Зміцнювати міжвідомчу співпрацю: Ефективна боротьба з лісовими пожежами та мінімізація їхніх наслідків вимагають тісної взаємодії між органами влади, лісовими господарствами, природоохоронними організаціями, науковими установами та місцевими громадами.

Розробляти комплексні програми відновлення: Після пожеж необхідно впроваджувати програми лісовідновлення, що враховують особливості екосистеми, сприяють відновленню біорізноманіття та підвищують стійкість лісів до майбутніх загроз.

Загалом, лісові пожежі є складною та багатогранною загрозою, що вимагає системного підходу, наукового обґрунтування рішень та значних ресурсів для їхнього попередження та ліквідації. Лише завдяки спільним зусиллям можна мінімізувати руйнівні наслідки цих подій для довкілля, економіки та здоров'я майбутніх поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boerner R. E. J., Hart S. C., Hix D. M. Fire and soil microbes. In *Fire in California's ecosystems*. University of California Press. 2009. pp. 345-360.
2. Bowman D. M. J. S., Balch J. K., Artaxo P., Bond W. J., Carlson J. M., Cochrane M. A., Pyne, S. J. Fire in the Earth system. *Science*. 2009. 324(5926), 481-484.
3. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005.143(1). 1-10.
4. Crutzen P. J., Andreae M. O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*. 1990. 250(4988), 1669-1678.
5. DeBano L. F. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*. 2000. 231. 195-206.
6. Jaffe D. A., Hofheimer J., Wurl K. A. Review of the impacts of biomass burning on air quality, climate, and public health in the United States. *Current Pollution Reports*. 2020. 6(4). 361-375.
7. Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science*, 16(8), 406-411.
8. Lindenmayer D. B., Cover S., Wood J. The influence of forestwildfire on wren and logrunner populations in south-eastern Australia. *Wildlife Research*, 2008. 35(7). 611-620.
9. Neary D. G., Klopatek C. C., DeBano L. F., Ffolliott P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*. 1999. 122(1-2). 51-71.
10. Pausas J. G., Keeley J. E. A new fire regime classification for ecological research. *Fire Ecology*. 2009. 5(2), 1-10.
11. Shakesby R. A., Doerr S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*. 2006. 74(3-4). 269-307.

12. Smith J. K. (Ed.). (2000). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 1. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
13. Smith H. G., Sheridan G. J., Lane P. N. J., Nyman P., Haydon S. Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*. 2011. 396(1-2). 170-192.
14. Turner M. G., Dale V. H. Comparing large, infrequent disturbances: what have we learned? *Ecosystems*, 1998. 1(6). 493-496.
15. Забуга М. О., Качановський В. Б., Криворучко, М. В. Вплив лісових пожеж на екологічний стан довкілля та здоров'я населення. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Лісівництво. 2018. (290). 81–89.
16. Грибанов Д. В., Палій, В. М. Проблеми моніторингу та прогнозування забруднення атмосферного повітря внаслідок лісових пожеж та їх вплив на здоров'я людини. *Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського"*. 2018. (86). 127–134.
17. Коваленко І. А., Соколова О. М. Сучасні проблеми оцінки впливу лісових пожеж на якість атмосферного повітря та здоров'я населення. *Проблеми лісівництва та лісової меліорації*. 2017. (131). 107–114.
18. Лактіонов В. І., Мороз О. І. Вплив забруднення атмосферного повітря продуктами горіння лісових пожеж на захворюваність органів дихання. *Довкілля та здоров'я*. 2016. (2(78)). 24–28.
19. Мельник І. І., Бойчук О. В. Вплив диму лісових пожеж на серцево-судинну систему: огляд сучасних досліджень. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2020. 24(1). 123–127.
20. Вовк О. В., Кухар В. П. Аналіз впливу техногенних та природних катастроф на психічне здоров'я населення (на прикладі лісових пожеж). *Український вісник психоневрології*. 2019. 27(1). 54–58.

21. Яцик, А. В., Мельник, В. В. Лісові пожежі як фактор ризику для здоров'я дітей. *Екологічний вісник*. 2015. 5(7). 44–48.
22. Головач В. В., Лащенко, А. І. Екологічні аспекти відновлення лісових екосистем після пожеж у Східному Поліссі України. *Лісовий журнал*. 2019. (3). 45–52.
23. Заячук В. Я., Приходько Н. М. Особливості лісовідновлення на згарищах в умовах Карпат: екологічний та економічний аспекти. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2018. 28(4). 112–119.
24. Ковальова І. М., Самойленко В. М. Відновлення біорізноманіття на порушених лісовими пожежами територіях: досвід та перспективи. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Серія: Біологія. 2017. (2), 87–95.
25. Лактіонов В. І., Мороз О. І. Методи та стратегії відновлення лісових насаджень після пожеж. *Проблеми лісівництва та лісової меліорації*, 2016. (126). 98–105.
26. Олійник М. П., Котенко, О. В. Вплив інтенсивності лісових пожеж на успішність природного та штучного лісовідновлення. *Екологічний вісник*. 2020. 14(1). 67–74.
27. Ткачук В. І., Романюк О. П. Застосування ГІС-технологій для моніторингу та планування відновлювальних робіт на післяпожежних територіях. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. (84). 45–51.
28. Шевченко С. М., Захарченко В. А. Стійкість лісових екосистем до пожеж та шляхи їх відновлення в умовах зміни клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. (90). 101–108.
29. Дрозд В. В., Горошко С. П. Математичні моделі поширення лісових пожеж та їх застосування в лісовому господарстві. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2018. 28(8). 65–70.

30. Загребельна Т. І., Бойко О. В. Використання безпілотних літальних апаратів для оцінки стану лісів після пожеж. *Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету*. 2021. 31(1). 78–85.
31. Ковальчук В. І., Левицька І. В. Оцінка екологічної шкоди від лісових пожеж з використанням ГІС-технологій. *Екологічна безпека та природокористування*. 2017. 25(3). 112–119.
32. Лактіонов В. І., Мороз О. І. Методи та стратегії відновлення лісових насаджень після пожеж. *Проблеми лісівництва та лісової меліорації*, 2016. (126). 98–105.
33. Мельник М. І., Павленко Т. В. Застосування штучного інтелекту для прогнозування лісових пожеж та оцінки їхніх наслідків. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Природокористування*. 2023. 32(2). 55–62.
34. Петренко А. О., Смірно В. Г. Економічна оцінка екосистемних послуг лісів, втрачених внаслідок пожеж. *Економіка природокористування та охорони довкілля*. 2020. (4). 45–53.
35. Ткачук В. І., Романюк О. П. Застосування ГІС-технологій для моніторингу та планування відновлювальних робіт на післяпожежних територіях. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. (84). 45–51.
36. Офіційний сайт Державної екологічної інспекції України: dei.gov.ua
37. Сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС): dsns.gov.ua.
38. Державне агентство лісових ресурсів України forest.gov.ua.