

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімічної технології та захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

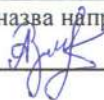
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### «РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ»

Виконав: студент групи Еко-22м  
спеціальності 101 – «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Зінченко А. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД



Петрук Р.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент: к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД



Гордієнко О.А.

(прізвище та ініціали)

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри ЕХТЗД  
к.т.н., проф. Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)



«13» грудня 2023 р.

Вінниця – 2023 року

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра Екології, хімії та технологій захисту довкілля  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 10 «Природничі науки»  
Спеціальність – 101 – «Екологія»  
Освітньо-професійна програма – "Екологія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ЕХТЗД  
Іщенко В.А.  
18 вересня 2023 року

### ЗАВДАННЯ

#### НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ



Зінченко Анні Андріївни  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемах»  
керівник роботи Петрук Роман Васильович  
затвержені наказом вищого навчального закладу від «18» вересня  
2023 року № 247
2. Строк подання студентом роботи «13» грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: Динаміка згорання площі лісів у гектарах, помісячно
4. Зміст текстової частини:
  1. Аналіз проблеми низових пожеж в екосистемах
  2. Екологічні аспекти низових пожеж
  3. Методи передбачення та прогнозування низових пожеж
  4. Розрахунок розміру еколого-економічних збитків від викидів забруднюючих речовин, які виділяються під час згорання лісів

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Переваги та недоліки різних методів та вогнегасних речовин при гасінні низових лісових пожеж
2. Категорії причин, які спричиняють швидкий розвиток пожеж
3. Розрахунки економічних збитків
4. Дані розрахунків розмірів заподіяної шкоди

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
4. Розрахунок розміру еколого-економічних збитків від викидів забруднюючих речовин, які виділяються під час згорання лісів	Краєвська Алла Станіславівна		

7. Дата видачі завдання « 18 » вересня 2023 року

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Проаналізовано проблеми низових пожеж в екосистемах	30.09.2023	
2.	Досліджено екологічні аспекти низових пожеж	20.10.2023	
3.	Проаналізовано методи передбачення та прогнозування низових пожеж	05.11.2023	
4.	Розраховано розмір еколого-економічних збитків від викидів забруднюючих речовин, які виділяються під час згорання лісів	20.11.2023	
5.	Підготовка висновків, додатків і переліку літератури.	13.12.2023	

Студентка

  
(підпис)

Зінченко А. А.

Керівник роботи

  
(підпис)

Петрук Р. В.

## ВІДГУК

наукового керівника

на магістерську кваліфікаційну роботу

студентки групи ЕКО-22м Зінченко А. А.

на тему «Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемах»

Тема «Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемах» є важливою для забезпечення екологічної рівноваги та забезпечення стійкого співіснування різних видів у межах різних екосистем. Застосування новітніх методів передбачення та прогнозування низових пожеж є ключовим елементом стратегій по зменшенню ймовірності їх виникнення та збільшенню швидкості ліквідації.

Отже, дана тема має велике значення в контексті сучасних екологічних, економічних та соціальних викликів у галузі екології.

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентка Зінченко А. А. виконала літературний пошук та аналіз даних щодо стану низових пожеж в екосистемах. На основі цих даних було досліджено та розроблено ефективні заходи екологічної безпеки для управління та гасіння.

Пояснювальна записка має обґрунтовальний стиль написання. Робота оформлена відповідно до вимог діючих стандартів. Матеріали відповідають об'єкту дослідження.

Під час роботи над магістерською кваліфікаційною роботою студентка Зінченко А. А. виявила самостійність при вирішенні поставленого завдання, вміння працювати з фаховою літературою, володіє достатніми знаннями з екологічних дисциплін та комп'ютерної техніки.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінку «відмінно».

Керівник роботи,  
д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД



Р. В. Петрук

## ВІДГУК

опонента

на магістерську кваліфікаційну роботу

студентки групи ЕКО-22м Зінченко А. А.

### на тему «РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ»

Обробка аналітичних даних з метою їх аналізу та представлення результату і формування відповідних висновків, раціональне представлення результатів аналізу є актуальною задачею.

Вихідних даних для виконання роботи цілком достатньо. Практичні рекомендації та висновки є обґрунтованими. В роботі присутній багатосторонній аналіз об'єкта дослідження (таблиці, рисунки, формули).

Прийняті рішення достатньо обґрунтовані, враховано фактори безпеки життєдіяльності.

У магістерській кваліфікаційній роботі проаналізовано екологічну безпеку стану низових пожеж в екосистемах, розроблено заходи для зниження ризику виникнення пожеж та їх ліквідації.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичне використання та достатній пізнавальний і навчальний рівень.

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано. Ілюстративний матеріал, представлений у даній роботі, відображає основний зміст роботи, оформлений згідно діючих стандартів і відповідає об'єкту дослідження.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичну цінність, так як містить аналітичні дослідження щодо стану низових пожеж, що дає можливість розробляти ефективні заходи для їх запобігання.

Для поглиблення розуміння про ефективність застосування конкретних методів у практиці слід доповнити аналіз методів та технології боротьби з низовими пожежами наводячи конкретні приклади успішного використання існуючих методів.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку «відмінно».

Опонент

  
(підпис)

О.А. Гордієнко, к.т.н., доцент

## АНОТАЦІЯ

УДК 502.504

Зінченко А. А. Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемах. Магістерська кваліфікаційна робота з спеціальності 101 – Екологія, освітня програма – «Екологія». Вінниця, ВНТУ, 2023. 82 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назва, рис.: 15; табл.: 11.

Магістерська робота спрямована на комплексне вивчення проблеми низових пожеж в екосистемах, розробку ефективних екологічно безпечних заходів їхнього контролю та гасіння, а також врахування їхнього впливу на природні компоненти та кліматичні умови.

Мета роботи – полягає в проведенні комплексного аналізу проблеми низових пожеж в екосистемах, визначенні сучасного стану цієї проблеми та розробці ефективних заходів екологічної безпеки для їхнього управління та гасіння.

Ключові слова: низові пожежі, лісові пожежі, екосистема, екологічна безпека, методи прогнозування.

## **ABSTRACT**

UDC 502.504

Zinchenko A. A. Development of measures for ecological safety of ground fires in ecosystems. Master's qualification work in the specialty 101 - Ecology, educational program - "Ecology." Vinnytsia, VNTU, 2023. 82 p.

In Ukrainian. Bibliography: 21 titles; Figs. 15; Tables: 11.

The master's thesis is aimed at a comprehensive study of the problem of ground fires in ecosystems, the development of effective environmentally safe measures for their control and extinguishing, as well as consideration of their impact on natural components and climatic conditions.

The goal of the work is to conduct a comprehensive analysis of the problem of ground fires in ecosystems, determine the current state of this problem, and develop effective measures of environmental safety for their management and extinguishing.

Keywords: ground fires, forest fires, ecosystem, environmental safety, forecasting methods.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Сучасний стан проблеми пожеж в екосистемах .....	8
1.2 Методи та технології боротьби з низовими пожежами .....	11
1.3 Переваги й недоліки наявних методів гасіння низових пожеж.....	20
<b>2 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ.....</b>	<b>24</b>
2.1 Вплив низових пожеж на природні екосистеми .....	27
2.2 Вплив пожеж на стан атмосфери та мікроклімат .....	29
2.3 Аналіз причин виникнення низових пожеж .....	31
2.4 Рекомендації щодо зниження ризику виникнення пожеж.....	36
<b>3 МЕТОДИ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ.....</b>	<b>42</b>
3.1 Моделювання низових пожеж в екосистемах .....	42
3.2 Аналіз ГІС відслідковування зміни довкілля.....	48
3.4 Моніторинг лісових пожеж з використанням оптичних датчиків диму, газу та мікрохвиль .....	55
<b>4 РОЗРАХУНОК РОЗМІРУ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЯКІ ВИДІЛЯЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗГОРАННЯ ЛІСІВ.....</b>	<b>58</b>
4.1 Визначення кількості забруднюючих речовин, що надійшли в атмосферу під час згорання лісових масивів.....	59
4.2 Розрахунок суми збитків з урахуванням шкідливості кожної забруднюючої речовини.....	63
<b>Висновки .....</b>	<b>66</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>67</b>



**Додаток А.** ..... Помилка! Закладку не визначено.

**ДОДАТОК Б.** ..... Помилка! Закладку не визначено.

## ВСТУП

**Актуальність.** Проблема низових пожеж в екосистемах стає дедалі більш актуальною через зростаючу частоту та інтенсивність таких подій, які становлять значні екологічні загрози. Ці пожежі не лише загрожують біорізноманіттю, але й призводять до забруднення повітря та змін клімату. Розгляд цього питання є важливим для забезпечення екологічної рівноваги та забезпечення стійкого співіснування різних видів у межах цих екосистем.

Низові пожежі, часто недооцінені порівняно з лісовими пожежами, вимагають особливої уваги через їхні особливі характеристики та вплив на навколишнє середовище. Розуміння та зменшення факторів, які спричиняють низові пожежі, необхідно для ефективного екологічного управління і контролю за ними. на стадії виробництва сумішей, так і при їх застосуванні.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана робота виконувалась відповідно науковому напрямку кафедри екології та екологічної безпеки ВНТУ та Стратегії сталого розвитку України – 2030.

**Метою роботи** є проведення комплексного аналізу проблеми низових пожеж в екосистемах, визначення сучасного стану цієї проблеми та розробка ефективних заходів екологічної безпеки для управління та гасіння таких пожеж.

**Завдання роботи.** Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Провести докладний аналіз сучасного стану питань, пов'язаних із низовими пожежами в екосистемах, вивчити методи та технології боротьби з низовими пожежами, які використовуються в сучасній практиці.
2. Розглянути вплив низових пожеж на природні екосистеми та вивчити вплив пожеж на стан атмосфери та мікроклімат.
3. Розглянути моделі для ефективного передбачення та прогнозування низових пожеж в екосистемах.

Ці завдання спрямовані на отримання комплексного розуміння проблеми низових пожеж, розробку нових методів їх передбачення та вдосконалення екологічно безпечних заходів для управління та гасіння таких пожеж.

**Об'єкт досліджень** - низові пожежі в екосистемах

**Предмет досліджень** Предметом досліджень є вплив та наслідки низових пожеж на екосистеми та природні умови.

**Новизна одержаних результатів.** Дістало подальшого розвитку дослідження специфічних умови та фактори виникнення та поширення низових пожеж, що дозволяє виявляти та попереджати такі пожежі і тим самим мінімізувати вплив пожеж на біорізноманіття, кліматичні умови та якість повітря.

Розроблені в ході роботи екологічно безпечні методи управління та гасінням низових пожеж враховують конкретні особливості цього типу пожеж і дозволяють ефективно впоратися з їхніми наслідками.

**Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.**

Викладені у МКР положення доповідались на науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України – 2023».

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.

1. Зінченко А. А. Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемах. «Енергоефективність в галузях економіки України – 2023», 2023.

Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19570>

# 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ

## 1.1 Сучасний стан проблеми пожеж в екосистемах

Ліси виконують значну роль у житті суспільства завдяки виконанню різних корисних функцій. Вони підтримують водний стік в річках та заважають водній ерозії і забрудненню водних ресурсів. Ліси важливі для закріплення і захисту ґрунтів, особливо в гірських районах, де вони запобігають зсувам. У степових регіонах, ліси знижують поверхневий стік, сповільнюють вплив вітру та зберігають вологу ґрунту, що допомагає захищати поля від засух та пилових бурь. Крім того, ліси виконують санітарно-гігієнічні та рекреаційні функції.

З іншого боку, ліси постачають сировину для різних галузей економіки (рис.1.1).

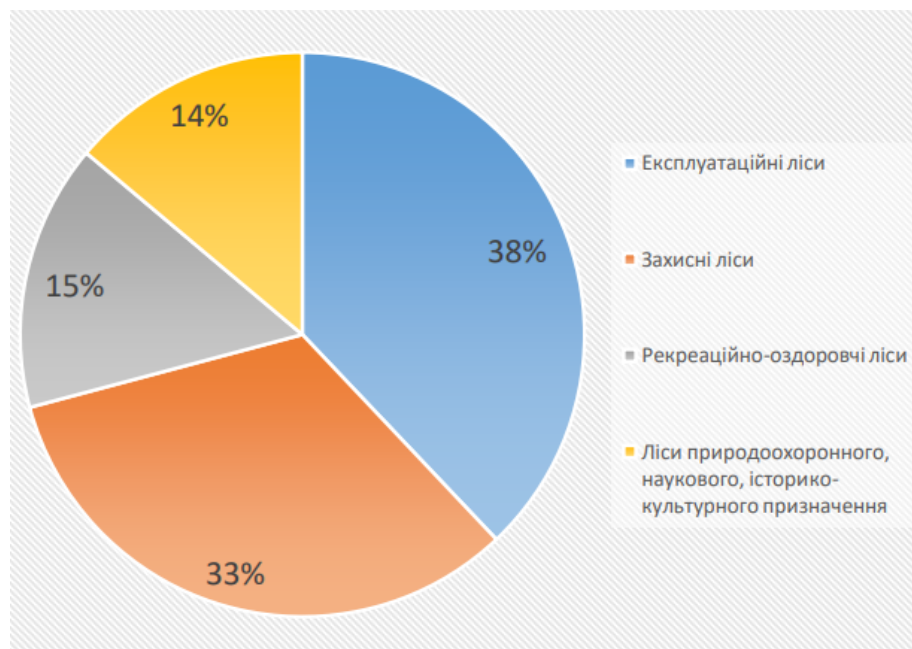


Рисунок 1.1 – Розподіл лісів за категоріями у залежності від функцій, які вони виконують

Загальна площа лісів в Україні становить 10,4 мільйони гектарів, проте їх розподіл неоднаковий. Основний обсяг лісів сконцентрований в Поліссі та Карпатах. Лісистість різних природних зон різниться, що ускладнює досягнення оптимального використання земельних ресурсів та формування екологічно стабільного середовища.

У порівнянні з іншими європейськими країнами, лісистість України найнижча і становить лише 15,7% (рис. 1.2).

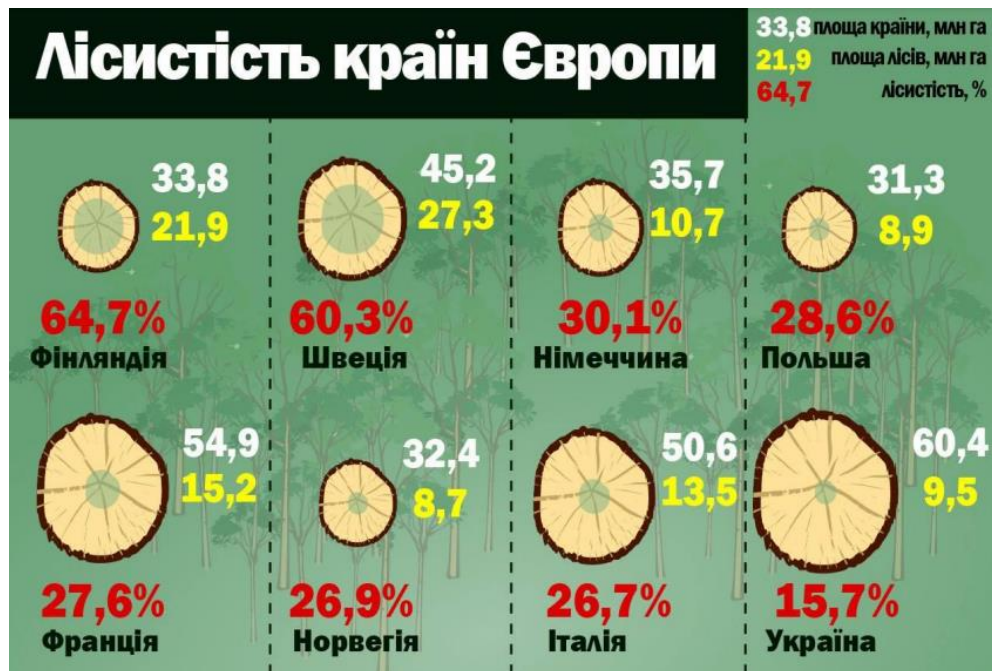


Рисунок 1.2 – Порівняння лісистості території країн Європи та України

Проблема незаконної вирубки лісів залишається актуальною і призводить до значного зменшення лісового покриву. Лісові пожежі також завдають шкоди лісам і сприяють кліматичним змінам [1].

Державне агентство лісових ресурсів України є основною державною структурою, яка має підпорядкованість більшості лісів у країні, складаючи 73% загальної площі. Ця організація є центральним органом виконавчої влади та відповідає за реалізацію державної політики у галузі лісового господарства та мисливства.

Основними функціями Державного агентства лісових ресурсів України є подання пропозицій стосовно формування державної політики у сфері лісового господарства та мисливства та реалізація цієї політики.

Лісове господарство на місцевому рівні здійснюється обласними управліннями лісового та мисливського господарства, які підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України та взаємодіють з відповідними регіональними органами [2].

За статистичними даними в період з 2010 по 2019 роки в Україні щорічно відбувається більше тисячі випадків лісових пожеж (рис. 1.3), при цьому найбільші пожежі за площею сталися у 2014 та 2017 роках (рис. 1.4).



Рисунок 1.3 – Динаміка кількості лісових пожеж за 2010-2019 роки



Рисунок 1.4 – Динаміка площ лісових пожеж за 2010-2019 роки

## 1.2 Методи та технології боротьби з низовими пожежами

При низовій пожежі згорає лісова підстилка, лишайники, мохи, трави, опалі на землю гілки і т. п. Швидкість руху пожежі за вітром здебільшого 0,25-5 км / г. Висота полум'я до 2,5 м. Температура горіння близько 700 ° С (іноді вище).

Низові пожежі бувають швидкі й стійкі:

При швидкій низовій пожежі згорає верхня частина надґрунтового покриву, підріст і підлісок. Така пожежа поширюється з великою швидкістю, обходячи місця з підвищеною вологістю, тому частина площі залишається незачепленою вогнем. Такі пожежі в основному відбуваються навесні, коли просихає лише верхній шар дрібних горючих матеріалів [3].

Стійкі низові пожежі поширюються повільно, при цьому повністю вигорає живий і мертвий надґрунтовий покрив, сильно обгорають коріння і кора дерев, повністю згорають підріст і підлісок. Стійкі пожежі виникають переважно з середини літа.

На рис.1.5 наведені основні методи гасіння низових лісових пожеж.

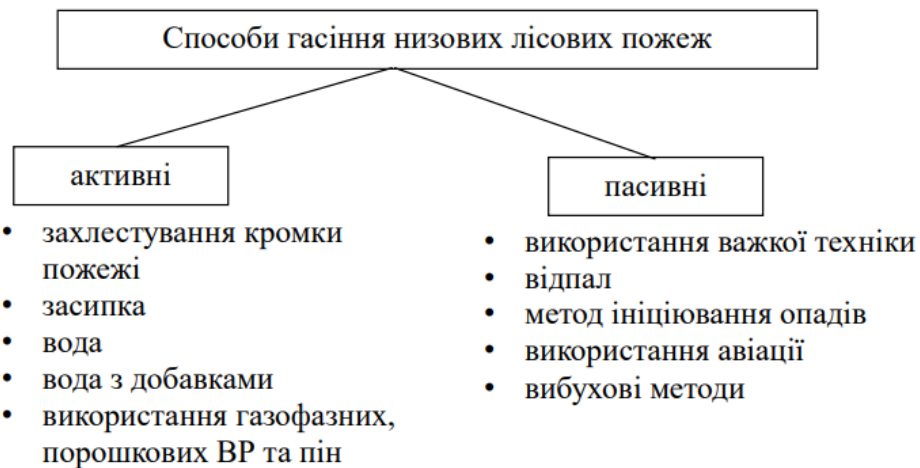


Рисунок 1.5 – Основні способи гасіння низових пожеж

Швидкість деяких методів гасіння пожеж наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Швидкість гасіння крайки пожежі одним робітником, м · хв.<sup>-1</sup>

Спосіб гасіння	Тип рослинного горючого матеріалу			
	Деревний	Лишайниковий	Трав'яний	Кущовий
Водою з використанням ранцевих лісових вогнегасників РЛО-6, РЛО-М, ОР	3,4	4,5	6,2	2,3
Розчинами хімікатів з використанням РЛО-6, РЛОМ, ОР	4,2	5,2	7,5	3,1
Засипання ґрунтом	0,3	0,8	1,5	
Створення загороджувальної смуги за допомогою ВВ – ПШ13-20, ЭШ-1П	4,0	5,2	6,0	2,5
Відпал захаращених ділянок		1,2	2,5	
Створення опорної смуги завширшки 0,75 м за допомогою шанцевого знаряддя	0,8	1,2	1,5	0,5

Для зупинення поширення вогню на кромці пожежі застосовують захльостування, що включає в себе використання свіжих гілок листяних дерев, невеликих дерев довжиною 1,5 - 2 метри, або інших доступних матеріалів, таких як мішкочина, прогумована тканина, чи інші тканини, закріплені на цівку. Захльостування вогню на кромці пожежі за допомогою цих засобів виконується під час ліквідації низових пожеж слабкої або середньої інтенсивності. Удари по палаючій кромці проводяться різкими рухами під кутом 30-45° відносно



поверхні землі, притискаючи вказані матеріали до ґрунту і витягуючи їх вбік від згарища. Після кожного удару засіб очищують від тліючих вуглин, якщо вони прилипли [4].

Засипання кромки пожежі ґрунтом використовують на легких піщаних або супіщаних слабо задернілих ґрунтах, коли захльостування вогню стає менш ефективним, або коли важко провести швидку побудову загороджувальних смуг. Для засипання кромки землею спочатку видаляють рослинний покрив та верхній шар з підстилкою, потім риють ями для взяття ґрунту, який потім кидають на палаючу кромку так, щоб захопити якнайбільшу площу. Землю кидають вздовж кромки або під кутом до неї. Починаючи, засипають вогонь, щоб зупинити його поширення, а потім покривають тліючу кромку ґрунтом, створюючи непроникний шар шириною 40-60 см і товщиною 6-8 см. Підпалені пні, тріски, та інші горючі залишки також повністю засипають ґрунтом, наносячи більш щільний шар [5].

З метою управління розповсюдженням пожежі застосовують загороджувальні та опорні мінералізовані смуги та канали з такими цілями:

1. Локалізувати пожежу, не зупиняючи її подальше поширення безпосереднім впливом на кромку пожежі.

2. Забезпечити надійну локалізацію пожежі, коли поширення вогню вже було зупинено.

3. Створити можливість застосування відпалювання від опорних смуг.

Для створення таких загороджувальних та опорних смуг можуть використовуватися наступні засоби та механізми обробки ґрунту:

1. Тракторні та конні плуги.

2. Спеціальні тракторні машини для обробки ґрунту та прокладання смуг.

3. Бульдозери (якщо потрібно розчистити смуги від чагарника, завалів та інших перешкод).

4. Спеціалізовані лісопожежні машини з прикріпленими засобами обробки ґрунту [6].

Загороджувальні смуги можуть бути одинарними або подвійними, а в разі потреби створення ширших смуг можуть бути прокладені у кілька етапів. Важливо враховувати, що створення широкої загороджувальної смуги перед кромкою пожежі за допомогою техніки потребує значно більше часу, ніж створення такої смуги відпалюванням. Тому в разі великих пожеж краще використовувати відпалювання від опорних смуг.

Кожна загороджувальна смуга створюється на певній відстані від кромки пожежі і закінчується на природних або штучних протипожежних бар'єрах, таких як дороги, струмки, мінералізовані смуги та інші [7].

Для прокладання каналів використовують плуг-канавокопач ПКЛН-500А, який робить каналу глибиною 0,5 м та шириною 0,3 м на дні, а також канавокопач ЛКН-600, який створює каналу глибиною 0,7 м та шириною 0,3 м. У випадку відсутності механізованих засобів або в умовах, коли їх застосування недоцільне (наприклад, при невеликих пожежах або обмеженому маневруванні через густу рослинність), загороджувальні смуги можна створювати вручну, видаляючи верхній рослинний шар граблями на легких ґрунтах або знімаючи дернину лопатами чи мотиками до мінерального ґрунту [8].

Відпалювання є вельми ефективним методом при гасінні верхових і низових пожеж з високим і середнім ступенем інтенсивності. Цей спосіб ліквідації пожеж дозволяє швидко утримувати вогонь обмеженими силами.

Розпочинати відпалювання варто від меж лісової площі, таких як дороги, стежки, річки, струмки, або від спеціально створених мінералізованих смуг, які створені для попередження поширення вогню. У випадках, коли таких перешкод поруч з пожежею немає, використовують опорні смуги, які створені вручну за допомогою інструментів для обробки ґрунту, вибухових речовин, хімічних розчинів та інших засобів, і мають ширину до 0,5 метра [9].

Під час розпалювання горить надґрунтовий покрив, який розпалюється вздовж самого краю опорної смуги, що виставлена проти пожежі, без жодних проміжків. Для цього використовують спеціальні пристрої для запалювання. Якщо ж такі пристрої недоступні, можна використати підручні засоби,

наприклад, смолоскипи з бересту або ганчір'я, змочені пальними речовинами тощо.

Початок відпалювання відбувається перш за все навпроти центру фронту пожежі на відстані, що дозволяє горінню просунутись не менше, ніж на 10 метрів до кромки пожежі. У разі низових пожеж високої інтенсивності та високої швидкості вітру, яка перевищує 5 метрів на секунду, ширина смуги для спалювання перед фронтальною кромкою повинна бути від 100 метрів.

Відпалювання слід розпочинати навпроти центру фронту пожежі, рівномірно пересуваючись в обидва боки до флангів, на яких горіння зупинене за допомогою інших засобів.

У випадку, коли інші методи не дозволяють зупинити поширення вогню на флангах та в тилу, опорну смугу для початку відпалювання слід створювати у вигляді замкнутого контуру або так, щоб до однієї її частини упиралася вже згоріла площа лісу або прилегла до неї ділянка, яка не зазнала впливу пожежі. Також можна використовувати поля, луки або широкі дороги як частину опорної смуги для початку відпалювання від них.

На території, яка прилегла до опорної смуги з іншого боку від пожежі, необхідно здійснювати постійний нагляд, щоб уникнути появи нових пожеж внаслідок перенесення палючих частинок через опорну смугу.

Для прискорення відпалювання смуги перед фронтом пожежі можна використовувати різні методи залежно від таких чинників, як швидкість вітру, тип пожежі, рельєф місцевості та вид горючих матеріалів. Наприклад, при гасінні швидко розповсюджуваних низових пожеж, особливо на відкритих ділянках, де немає ризику переходу вогню в верховий шар лісу, можна використовувати метод "випереджувального вогню" або метод "гребінки" [10].

Метод "випереджувального вогню" передбачає початок відпалювання у напрямку від опорної смуги, а потім на певній відстані від неї без використання опорної смуги проводиться додаткове відпалювання. Воно може бути розділене на два або три етапи для більшої ефективності.

На рисунку 1.6, наведеному нижче, демонструється метод "випереджувального вогню".

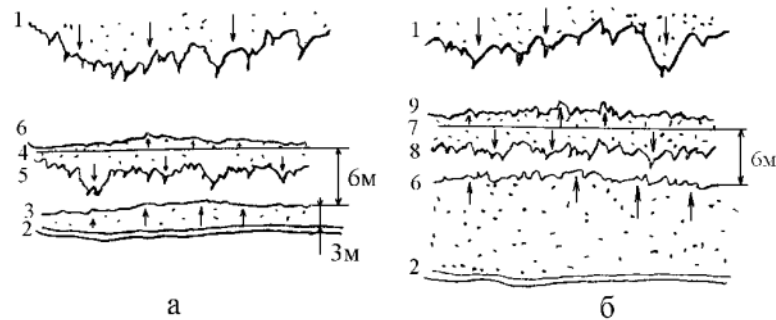


Рисунок 1.6 – Метод випереджувального вогню

а - 1 етап; б - 2 етап; 1 - фронт пожежі; 2 - опорна смуга; 3 - низовий вогонь, що виник в результаті першого запалювання, та рухається проти вітру; 4 - лінія другого відпалювання; 5 - низовий вогонь, який виник під час другого запалювання та рухається у напрямі вітру; 6 - низовий вогонь, що виник в результаті другого запалювання та рухається проти вітру; 7 - лінія третього запалювання; 8 - низовий вогонь, який виник під час третього запалювання та рухається у напрямі вітру; 9 - низовий вогонь, що виник в результаті третього запалювання і рухається проти вітру [11].

При методі "гребінки" відпалювання проводиться не лише вздовж опорної смуги, але й поперек неї через рівні відстані, залежно від умов (рис. 1.7). Такий підхід дозволяє збільшити швидкість відпалювання та забезпечити кращий контроль над пожежею.

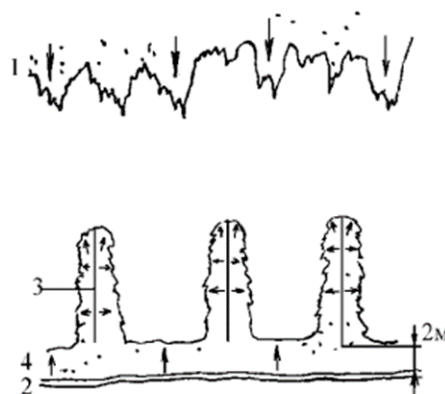


Рисунок 1.7 – Відпалювання способом "гребінки": 1 – фронт пожежі; 2 – опорна смуга; 3 – лінія додаткового запалювання; 4 – вогонь відпалювання

Найпоширенішою і найбільш ефективною речовиною для гасіння лісових пожеж є вода. Її можна успішно використовувати для припинення різних типів пожеж, включаючи низові, верхові (стійкі) та ґрунтові (підстилкові та торф'яні) пожежі. Залежно від характеристик пожежі, умов на місцевості, доступності води та виду використовуваної техніки, вода може використовуватися для завдань, таких як локалізація поширення пожежної кромки і навіть повне припинення вогню.

Вода надається у вигляді сильного компактного або розпиленого струменя. Сильний компактний струмінь руйнує структуру горіння матеріалів, змішує їх із ґрунтом і викидає на територію, що зайнялась.

Для підвищення ефективності гасіння води, до неї можуть додаватися змочувальники або піноутворювачі (ПАР). Ці добавки знижують поверхневий натяг рідини та підвищують її проникнення в дрібні пори матеріалів. Підготовлені змочувальні розчини ефективно використовуються під час гасіння низових та ґрунтових пожеж, а також для припинення пожежі [12].

На ґрунтах, які вже зайнялися, і при наявності глибокого шару підстилки, ручна апаратура для гасіння може бути неефективною. У таких випадках рекомендується використовувати потужні струмені води, які подаються за допомогою насосних установок і вимагають значно більше води на кожен квадратний метр пожежної зони. Такі сильні струмені води використовуються для гасіння сильних осередків горіння або у випадках, коли пожежа концентрується в складних умовах, наприклад, в скупченнях матеріалів.

Під час гасіння різних типів пожеж, можна застосовувати різні види струменів води. Наприклад, для подолання чагарників та кущів ефективно використовувати розпилені струмені води.

Для ліквідації ґрунтових пожеж (підстилкових і торф'яних) або знищення спеченої кори, що утворилася під пожежею, використовують потужні струмені води з додаванням змочувачів (зазвичай піноутворювачів). Ці струмені допомагають перетворити горіння торфу у рідку масу та вологий торф навколо осередку пожежі [13].

Для гасіння низових пожеж, крім води, також використовують робочі розчини загального призначення, які містять піноутворювачі. Ці піноутворювачі складаються з поверхнево-активних речовин, які зменшують поверхневий натяг води та допомагають утворювати піну. Ці розчини використовуються для гасіння пожеж, де горять тверді горючі матеріали та легкозаймісті рідини.

Наразі на ринку доступні різні марки піноутворювачів загального призначення, які можуть бути використані для гасіння пожеж з використанням різних технічних засобів, таких як вогнегасники, системи пожежогасіння, пожежні автомобілі тощо. Деякі з них включають "Барс," "Пірена," "Софір," "ПО-ЗНП," "ПО-6НП," "ПО-6ЦТ," "ПО-6МТ," "ПО-6ОСТ," "ТЭАС," "Sthamex f-15," "Pyrosom OH" та багато інших [14].

Розчини піноутворювачів зазвичай приготуються і зберігаються на лісових пожежних станціях у спеціальних контейнерах і потім доставляються до місця пожежі у цистернах пожежних автомобілів, поліетиленових каністрах або безпосередньо в резервуарах лісових вогнегасників. Вогнегасні речовини можуть бути застосовані для різних цілей, таких як зупинення поширення пожежі на її кромці, створення опорних смуг для подальшого відпалювання та гасіння окремих вогнищ, що залишилися після первинної локалізації пожежі.

Опорні смуги для початку відпалювання можуть бути прокладені з шириною від 0,3 до 0,5 метра. Кількість розчину на опорних смугах залежить від товщини надґрунтового покриву і зазвичай становить 0,5 – 1,5 літра на кожен квадратний метр [10].

Для забезпечення дії опорних смуг тривалістю до доби може бути використаний 20% водний розчин хлориду магнію або хлориду кальцію, що містить 0,5% змочувача. Під час вибору типу вогнегасної речовини необхідно звернути увагу на площу пожежі, місце її виникнення і інтенсивність горіння. Наприклад, вода є найпоширенішою вогнегасною речовиною, проте її ефективність є обмеженою в деяких умовах, таких як пожежі в торф'яних болотах, де вона не може належним чином змочити і проникнути в горючий матеріал через низький поверхневий натяг води та гідрофобні властивості торфу.

Змішування води з піноутворювачами (ПАР), які знижують поверхневий натяг води та збільшують її здатність змочувати горючі матеріали, є ефективним методом боротьби з такими видами пожеж. Водні розчини піноутворювачів, такі як "сульфонол НП-3," "Барс S-1," "Барс S-2," "Барс S-1m," "Альпен," "Пірена," і багато інших, можуть бути використані для підвищення здатності води до гасіння пожеж, де горять гідрофобні матеріали. Вибір конкретного піноутворювача залежить від складу горючих матеріалів і певних умов пожежі.

Встановлено, що використання 1-3%-вих водних розчинів карбонатів і бікарбонатів натрію підвищує змочувальну здатність в 2-3 рази. Такі розчини можуть застосовуватися для збільшення ефективності при гасінні різних видів пожеж, включаючи лісові пожежі, чагарники, луки, торф'яні болота та інші відкриті площі, а також для запобігання їх поширенню [15].

Щоб ліквідувати пожежі класу В використовують розчини піноутворювачів, які створюють повітряно-механічну піну. Ці розчини зазвичай отримують за допомогою відповідного обладнання, яке змішує піноутворювач із водою у визначених пропорціях.

Змочувальні розчини піноутворювачів, покращують ефективність води шляхом зниження її поверхневого натягу. Піна не пропускає воду з незгорілими горючими матеріалами, щоб запобігти їх загорянню. Це особливо корисно при гасінні підземних торф'яних пожеж, де важливе вбирання змочувального розчину підстилкою. Сучасний підхід передбачає використання екологічно безпечних сполук та піноутворювачів, таких як складні ефіри поліетиленгліколю і жирних кислот або алкілполіглюкозидів [16].

Для ефективного гасіння торф'яних пожеж рекомендується виконати наступні дії:

Створити водяні стволи навколо периметра пожежі на торфовищі для локалізації пожежі, відокремлюючи вогонь від незагорілих торфових ділянок на відстані не менше 3-5 метрів від зони горіння.

Зробити канаву навколо периметра пожежі до мінерального ґрунту або насиченого водою шару торфу, одночасно подаючи водяні стволи. Почати обкопування з тієї сторони, де ще не було стволів.

Розмивати торф в областях загоряння компактними струменями води та затоплювати їх.

Пересувати торф за допомогою прикріплених до машин інструментів (наприклад, торфокультиваторів) до моменту змішування його з вологою торф'яною масою.

Використовувати спеціалізовану техніку для доставки пожежної техніки до важкодоступних місць та створення протипожежних розривів, канав і тимчасових заград.

Організувати захист населених пунктів, промислових об'єктів, лісових масивів та полів у випадку загрози поширення пожежі на ці території.

Постійно відслідковувати обстановку на місці пожежі і вживати необхідні заходи для контролю над нею [14].

### **1.3 Переваги й недоліки наявних методів гасіння низових пожеж**

Розглянуті методи та засоби гасіння лісових пожеж мають свої обмеження та недоліки. Важливо враховувати їх при виборі найкращого підходу до ліквідації пожеж:

Метод нахльостування: Цей метод, який використовується для гасіння низових лісових пожеж слабкої інтенсивності, є простим і не вимагає техніки або вогнегасних речовин. Однак у нього є свої недоліки, включаючи необхідність великої кількості персоналу та можливість повторного загоряння, оскільки неможливо гасити всі осередки тління. Після відновлення горіння полум'я може безперешкодно розповсюджуватися далі.

Метод засипки крайки ґрунтом: Цей метод позбавлений проблеми повторного загоряння. Проте він може бути дуже трудомістким і важким у реалізації, особливо в умовах високої щільності деревостою, складного рельєфу місцевості та каменистого ґрунту. Використання технічних засобів, таких як



грунтомети, механізовані плуги та траншеєкопачі, може полегшити процес, але не завжди можливо їх використання в усіх умовах [17].

Використання води для гасіння лісових пожеж також має свої недоліки. Вода може стікати з похилих та вертикальних поверхонь, що призводить до великих втрат. Крім того, в умовах лісової пожежі вода швидко випаровується, що зменшує її ефективність. Використання води з модифікувальними добавками може бути більш ефективним, але це може бути економічно недоцільним.

Вибір методу та засобу гасіння повинен залежати від конкретних умов та характеристик пожежі, а також доступних ресурсів та обладнання.

Основні переваги та недоліки різних методів гасіння низових лісових пожеж приведено в табл. 1.2

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки різних методів та вогнегасних речовин при гасінні низових лісових пожеж

Метод або вогнегасна речовина	фактори, що визначають ефективність пожежогасіння					
	коэф. використання	Проникаюча здатність	Вогнегасні властивості	час вогнезахисної дії	потреба у ВР	Економ. фактор
вода	-	++	+	-	-	++
розчини	+	++	++	+	-	-
піни	++	+	++	+	-	-
твердіючі піни	++	+	++	++	-	-
порошки	-	-	++	-	-	-
Firesorb	++	-	++	+	-	-
ГУС БВС	++	±	++	++	-	-
гази – інгібітори	-	-	++	-	-	-
вибухові методи			±	+	++	+

Метод або вогнегасна речовина	фактори, що визначають ефективність пожежогасіння					
	коєф. викорис- тання	Проника- юча здатність	Вогнегасні властивості	час вогне- захисної дії	потреба у ВР	Економ. фактор
нахльостування				-	++	+
закидання грунтом				++	++	±
створення протипожежних бар'єрів					++	++
створення протипожежних бар'єрів хімічними засобами	+	++	++	+	-	-
Відпал				+	+	+
авіаційні методи (вода)	-	+	+	-	-	-

Примітка: показник оцінювання методу або вогнегасної речовини:

++ дуже висока, + висока, ± середня, – низька

Використання газофазних, порошкових Вогнегасників (ВР) і піни під час гасіння лісових пожеж не є дуже обіцяючим з точки зору перспектив, і це пояснюється як значними втратами, так і економічними обмеженнями [13].

Пасивні методи гасіння високоінтенсивних низових пожеж переважно базуються на створенні протипожежних бар'єрів. Для цього використовується важка техніка, яка створює мінералізовані смуги. Проте через значну ширину

таких смуг потрібно витратити багато часу, що в свою чергу призводить до значних втрат лісової площі.

Використання методів, які включають ініціювання випадання опадів, а також авіаційні і вибухові методи придушення лісових пожеж, мають значні обмеження і практично не використовуються самостійно.

Швидкотвердіючі піни, зокрема ті, що містять органічні речовини, мають обмеження відстані подачі і включають горючі і токсичні компоненти у своєму складі, а також мають низьку економічну ефективність. Швидкотвердіючі піни, які базуються на неорганічних речовинах, мають переваги в порівнянні з тими, що базуються на органічних речовинах, з точки зору екологічних параметрів та вогнезахисних властивостей.

Всі методи, які використовують авіацію, характеризуються дуже низькими економічними показниками. Також слід відзначити, що метод газифікованого вугільного сланцю має низьку проникаючу здатність та низькі економічні характеристики [17].

## 2 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ

Лісові пожежі становлять одну з найбільш небезпечних загроз екологічній безпеці та можуть завдати серйозної шкоди екосистемам. Пожежі, які регулярно виникають на певних територіях, в сучасному природокористуванні розглядають як локальні катастрофічні події, які можуть призвести до трансформації природних екосистем. Щорічно великі площі лісів стають жертвами пожеж, що призводить до втрати сотень тисяч гектарів лісних насаджень та викиду десятків тисяч тонн продуктів горіння в атмосферу.

Подолання проблеми зростання площ лісових пожеж в Україні стає національним завданням. З кожною одиницею знищених від пожежі лісів, в атмосферу потрапляє велика кількість димових частинок і газів, включаючи оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид азоту і аміак. Продукти горіння лісів вносять понад 40% річної емісії парникових газів, що призводить до серйозного забруднення атмосфери навколишніх територій, порушує кругообіг кисню, знижує захист від вітрових фронтів та сприяє ерозійним процесам. Лісові пожежі також призводять до руйнування біогеоценозів.

Лісові пожежі в Україні та по всьому світу стали загальнонаціональною проблемою, яка не тільки завдає шкоди лісам, але також впливає на водоохоронні, захисні та інші корисні функції лісів. Це також порушує планування лісового господарства та використання лісових ресурсів, що призводить до серйозних економічних, соціальних та екологічних втрат [18].

Окрім безпосереднього впливу пожеж, стан лісів залежить від різних екологічних чинників, таких як клімат та ґрунтово-гідрологічні умови (абіотичні фактори), хвороби та шкідники лісу (біотичні фактори), антропогенні втручання, такі як рекреація, забруднення навколишнього середовища та трансформація екологічних умов (антропогенні фактори). Всі ці чинники можуть взаємодіяти під впливом пожеж та поглиблювати їх наслідки.

Запобігання та боротьба із лісовими пожежами вимагає системного та оперативного підходу для захисту лісів, навколишнього середовища та громадян від наслідків цих природних катастроф.

Лісові пожежі мають безпосередній вплив на лісову екосистему та природне середовище. Вони впливають на процеси, такі як кругообіг вуглецю, тепловий режим ґрунту, забруднення поверхневих та підземних вод. Пожежі завдають невідомої шкоди рослинному і тваринному світу, особливо в районах, де екосистеми є нестійкими. Внаслідок пожеж зменшується кормова база для диких тварин, що може призвести до масових міграцій і зменшення чисельності видів. Пожежі також погіршують санітарний стан лісів, роблячи їх більш вразливими до шкідників та хвороб.

Стійкість лісових насаджень до пожеж залежить від різних чинників, включаючи біотичні та абіотичні фактори, а також ефективність профілактичних заходів та лісогосподарських робіт. Молоді ліси, розташовані на відкритих ділянках серед лугів і полів, є особливо вразливими перед пожежами. Сухі південні райони піддаються трав'яним пожежам, що можуть завдати серйозної шкоди лісовим насадженням через необережність людини [1].

Пожежі також призводять до ерозії ґрунту та змінюють режими річок, що може призвести до серйозних економічних і екологічних наслідків. Ці наслідки можуть відрізнитися в залежності від місця і ступеня впливу пожеж на природне середовище та види.

Урахування впливу пожеж на природу та місця проживання видів є важливим при розробці заходів пожежної безпеки та природоохоронних програм для запобігання негативним екологічним наслідкам та збереження природно-заповідних територій.

Згоряння та пошкодження лісу мають серйозні екологічні наслідки, включаючи швидке вивільнення в атмосферу CO<sub>2</sub> та хімічно активних речовин, також вони можуть викликати парниковий ефект. Дії вогню, від високих температур під час пожеж та наслідки попелу та елементів живлення, викликають зміни у фізико-хімічних і біологічних властивостях ґрунтів. Однак згодом вміст цих речовин швидко зменшується через вимивання опадами [19].

Ці зміни у властивостях ґрунту можуть призвести до руйнування існуючих фітоценозів та сприяти появі шкідників, які можуть знищити залишки

насаджень. У північній частині Євразії та Північній Америці пожежі спричиняють кардинальні зміни, такі як заболочення територій. Наприклад, пожежа на торф'яних болотах може призвести до їх повного знищення, і відновлення природного стану може зайняти тисячоліття.

Також пожежі мають вплив на ґрунт. Наприклад, згорання гумусу на скельних породах може призвести до руйнування ґрунту та місцезростання. Негативний вплив пожеж може також виявлятися в різкому зменшенні кількості азоту у ґрунті, що може вплинути на його доступність для рослин.

У той же час пожежі можуть активізувати бактерії, які фіксують азот, що може сприяти збільшенню доступного для рослин азоту. Отже, зміни, які виникають внаслідок пожеж, впливають на складні екологічні процеси, включаючи фізико-хімічні властивості ґрунту та доступність поживних речовин для рослин [20].

Природоохоронні території та екологічні мережі мають вирішальне значення для збереження біорізноманіття та вільного руху видів, особливо у зв'язку з новими загрозами. Щоб гарантувати функціонування цих екосистем, екологічні мережі повинні бути міцними та стійкими, щоб залишатися життєздатними після пожежі та забезпечувати свої важливі функції. Руйнування дикої природи чи проходження доріг через заповідні території можуть значно підвищити ризик виникнення пожежі.

Зміна ландшафтною структури та різноманіття може серйозно вплинути на існування різних видів, особливо на ті, що вважаються вразливими або перебувають під загрозою зникнення. Кожен аспект, який визначає природу пожежі, може мати різний вплив на різні види. Тому важливо враховувати ці параметри при розробці стратегій природоохорони та протипожежних заходів.

Для розробки планів управління зі збереження біорізноманіття важливо проаналізувати, як посухи та інші фактори призводять до збільшення ризику лісових пожеж. Для забезпечення підтримки видів, які знаходяться на межі зникнення, необхідно проводити дослідження, спрямовані на вивчення

екологічних взаємозв'язків між видами, які не можуть адаптуватися до впливу пожеж в умовах зміни клімату [19].

## **2.1 Вплив низових пожеж на природні екосистеми**

Важливим екологічним показником природних екосистем є їх рослинність, і цей компонент є найбільш динамічним в природних комплексах. Динаміка відновлення рослинності після пожеж визначається рядом факторів, які включають в себе тип лісу, біологічні характеристики деревостану та взаємозв'язки між видами.

Після того, як суцільні пожежі знищують насадження в більшості хвойних лісів, незалежно від їх вікового розвитку, процес відновлення займає не менше 180-240 років. Початковий етап відновлення полягає в заселенні згарища трав'яно-чагарниковими асоціаціями, а потім листяними породами. Після приблизно 10-15 років від початку заселення листяними породами, іноді одночасно з ними, розвивається самосів хвойних дерев. Подальший розвиток насаджень листяних порід відбувається в основному за стандартною схемою. Хвойні породи зазвичай ростуть під захистом листяного верхнього ярусу приблизно до віку 60-80 років, і лише коли починає розпадатися листяний деревостан, вони починають формувати верхній ярус. На цій стадії розпаду створюються умови для з'яви під лісом насаджень рясного самосіву і для виросту нового покоління хвойних порід.

Таким чином, післяпожежна динаміка відновлення рослинності залежить від типу лісу, але також враховує біологічні взаємозв'язки та віковий розвиток рослин. Цей процес слугує показником екологічного відновлення природних екосистем та розвитку рослинних угруповань після пожеж [20].

Відновлення хвойних лісів після пожеж включає різні стадії і вікові покоління рослин. Молоде покоління хвойних порід досягає віку приблизно 160 років першого (старшого) покоління і формує одновіковий деревостан нижнього ярусу, а до моменту розпаду деревостану старшого покоління (180-200 років) створює верхній ярус. Під час остаточного розпаду старшого покоління знову

створюються умови для зростання молодого покоління хвойних порід третього віку.

В результаті цього процесу виникають різновікові хвойні ліси, які формуються двома-трьома поколіннями деревних порід. Однак важливо враховувати, що ця післяпожежна динаміка відновлення хвойних лісів можлива лише в випадках, коли не виникає повторних пожеж протягом 200-250 років.

Крім того, аналізуючи відновлення рослинності після пожеж, важливо враховувати не лише тип лісу, але і властивості ґрунтів. В процесі пірогенної трансформації угруповань ґрунти також можуть змінюватися, переходячи від підзолистих до дерново-підзолистих. Тому не можна покладатися лише на схожість ґрунтів при класифікації рослинності, оскільки ця схожість не завжди відображає екологічні умови подальшого розвитку рослинності. Врахування рельєфу та конкретного місцезнаходження ділянок згарища також є важливими факторами в дослідженні післяпожежної динаміки рослинності.

Пожежі мають також і позитивні наслідки. Позитивний вплив пожеж на тваринний світ природних комплексів полягає в підвищенні кормових можливостей для деяких видів тварин та птахів завдяки змінам в рослинних угрупованнях. Наприклад, після пожеж у лісах, їх трансформація відбувається через стадії перетворення від трав'яних і чагарникових зон до лісистих угруповань, і ця зміна призводить до перерозподілу видів тварин.

Пожежі також сприяють знищенню насіння деяких рослин, що ускладнює відновлення лісових угруповань. У хвойних лісах на ранніх етапах післяпожежної сукцесії втрачаються характерні представники лісової фауни, такі як глухар, білка та рябчик. Деякі види тварин можуть втратити придатність до заселення таких територій на десятиліття.

Однак важливо зауважити, що зміни в рослинних угрупованнях часто полегшують доступ до їжі для інших видів тварин та птахів. Наприклад, існують дані про швидке розмноження мишоподібних гризунів на відкритих згарищах, що сприяє збільшенню чисельності хижаків, які полюють на них. Таким чином, пожежі можуть впливати на тваринний світ через зміни в рослинних



угрупованнях, сприяючи збільшенню чисельності окремих видів тварин і створюючи для них нові екологічні можливості.

Таким чином, складний вплив пожеж розповсюджується не лише на окремі компоненти природних комплексів, але і на їх екологічні режими відтворення. Вивчення та прогнозування цієї динаміки вимагають докладного врахування всіх цих аспектів [18].

## **2.2 Вплив пожеж на стан атмосфери та мікроклімат**

На сьогодні існують достовірні дані, які характеризують унікальний внесок ландшафтних пожеж у загальне забруднення атмосфери викидами диму і газів. Наприклад, американські вчені вказують, що щороку близько 5% викидів диму та газів, загальних для цих видів вогнів, потрапляє в атмосферу внаслідок лісових пожеж і збільшування лісопорібних відходів, включаючи різні цільові вогні. Є також спостереження щодо втрат поживних елементів, або точніше, їх перерозподілу між екосистемами під впливом вітряної дії після великого згарища. Після лісових пожеж і цільових палів на відкритих територіях втрачено близько 30% загальної кількості поживних речовин через їх переміщення вітром та акумуляцію на прилеглих до згарища ділянках. У цілому, можна констатувати значні втрати поживних елементів внаслідок вітрової ерозії після пожежі.

Під час спалювання порубкових залишків з кожного гектара в атмосферу потрапляли такі кількості поживних елементів: фосфору – 10 кг (18%), калію – 51 кг (17%), кальцію – 100 кг (47%), магнію – 37 кг (29%). Також під час лісових пожеж від підстилки може випаровуватися 25-44% азоту. Навіть якщо відносна частка ландшафтних пожеж у загальному забрудненні атмосфери невелика, цей внесок все одно існує і має екологічне значення.

Глобальний вплив лісових пожеж на екологічний стан великих територій через атмосферу досліджено недостатньо, і часто він приховується іншими факторами. Важливіше оцінений непрямий вплив пожеж на мікрокліматичні умови природних комплексів. Наприклад, пошкодження лісів або повне їх

знищення внаслідок пожеж призводить до поліпшення умов для теплообміну, схожих на відкриті поля. У деяких випадках температура може навіть бути вищою в проріджених пожежами лісах, ніж на відкритих площах. Дослідження показали, що на згарищах збільшується ймовірність днів з межами температур, а також є значні різниці у температурному режимі та вологості повітря в природних насадженнях, які були сильно пошкоджені вогнем, порівняно з лісами, які не були задіяні пожежею. Очевидно, що ці зміни мікроклімату впливають на рослинний склад і динаміку росту в межах конкретних екосистем.

Вплив мікрокліматичних змін особливо важливий на ранніх стадіях формування рослинності на згарищах, але в значній мірі проявляється і на пізніших етапах. В цілому, післяпожежні зміни в мікрокліматичних умовах, таких як освітленість, температурний режим, вологість приземних шарів повітря, швидкість вітру і таке інше, є важливою причиною змін у складі рослинних угруповань та динаміці природних комплексів.

Після лісових пожеж у соснових насадженнях виявлено значно більше вилуговування Ca, Mg, Na, K та P з підстилки в порівнянні з контрольними ділянками, і ця різниця складає приблизно 2 рази. Поверхневий стік зі згарищ виносив більше води на 1,19 разу та приблизно в 2 рази більше Ca, Mg, Na, K, в 10 разів більше N та також стільки ж P. Одразу після пожежі (до настання дощу) в розчин переходить близько 20 разів більше Ca, у 10 разів більше Mg, в 2 рази більше K та Na, а також стільки ж N і P. У перший рік після пожежі через вимивання з попілкового шару 1 гектара лісу в ґрунт надходило наступні кількості мінеральних елементів: Ca – 149 кг, Mg – 50 кг, K – 92 кг, Na – 33 кг [20].

Пожежі також впливають на гідрологічні характеристики екосистем і цей вплив не завжди однозначний. Наприклад, за результатами спостережень, після імітованих опадів у кількості 160 мм швидкість їх інфільтрації в ґрунт на вигорілих ділянках мало незначні відмінності в порівнянні з контрольними. Помічено деяке збільшення втрат K, Ca і Na внаслідок ґрунтової ерозії під впливом інтенсивних опадів на ділянках, які були вплинуті пожежею. Для

зменшення довгострокових наслідків пожежних змін у гідрологічній системі екосистем вкрай важливо вживати належні заходи щодо охорони лісів на територіях водозборів.

Перерозподіл водного стоку та виведення елементів живлення внаслідок знищення рослинності пожежами виявляються виразніше у створенні природних комплексів та динаміці рослинних угруповань. Найзагальніший результат впливу великих пожеж полягає в збідненні та висушуванні автономних природних комплексів, які потім зазнають обводнення. Особливо важливо проводити комплексне вивчення гідрологічного режиму, заболоченості та динаміки природних комплексів на природних територіях різних екологічних зон у зв'язку з великою кількістю лісових пожеж [21].

### **2. 3 Аналіз причин виникнення низових пожеж**

Пожежі на великих площах представляють один із головних факторів, які призводять до довгострокових негативних змін в природних екосистемах і мають негативний вплив на умови проживання населення. Щорічно, в численних країнах світу, спостерігаються сотні тисяч пожеж, які споживають ліси, чагарники, луки та торфовища на площі, що оцінюється в декілька мільйонів гектарів. Особливу увагу слід приділити лукам і чагарникам, оскільки вони відіграють важливу роль в збереженні біорізноманітності рослин і тварин, а також в регулюванні вуглецевого циклу, боротьбі з повенями, запобіганні ерозії ґрунту і можливості випасу худоби. Луки і чагарники визначаються як екосистеми з густотою дерев менше 10 га. Що стосується чагарників, то вони включають екосистеми з наявністю чагарників або напівчагарників, щільність яких становить не менше 30% покриття, і густоту дерев менше 10 штук на 1 га. У всьому світі однією з основних причин, що впливають на знищення луків і чагарників, є лісові пожежі [22].

Серед ключових факторів, які визначають особливості та перебіг пожеж, найважливішим є кількість та пожежонебезпечні властивості наявних горючих матеріалів. Зростання кількості горючих матеріалів призводить до збільшення

ймовірності виникнення пожеж, а тривалі періоди посушливого клімату збільшують легкозаймистість та розповсюдження пожеж у таких екосистемах. Хоча кількість горючих матеріалів на луках і чагарниках є невеликою порівняно з лісами, їх матеріали мають низький рівень вологості. Внаслідок цього інтенсивність пожеж в цих екосистемах незначна, проте вони можуть швидко розповсюджуватися. Кількість горючих матеріалів на луках і чагарниках варіюється від 2 до 10 Мг/га, і практично всі вони спалюються під час стандартних лісових пожеж. Для порівняння, у лісистих місцевостях і лісових масивах наявність горючих матеріалів розподіляється від 10 до 50 Мг/га до 200-1500 Мг/га, і лише 5-95% і 5-25% відповідно згорають під час звичайних лісових пожеж [23].

Метеорологічні умови, що переважають під час виникнення лісових пожеж, вирішують ключові аспекти їх розвитку. Ці умови включають такі фактори, як швидкість, напрям вітру та відносну вологість повітря. З метою деталізації були встановлені чотири рівні швидкості вітру:

1. Низька швидкість: до 10 км на годину;
2. Помірна швидкість: від 10 до 20 км на годину;
3. Висока швидкість: від 20 до 30 км на год;
4. Екстремальна швидкість: понад 30 км/год.

Зі збільшенням швидкості вітру та зниженням відносної вологості повітря зростає можливість виникнення пожеж у лісовій місцевості. Температура повітря відзначається меншим впливом на імовірність виникнення пожеж у лісі. Температурні джерела, утворені внаслідок пожеж у лісі можуть мати позитивний вплив, висушуючи поверхневу рослинність перед розповсюдженням вогню, збільшуючи площу впливу пожежі та рівень вугільної зугленості. Крім того, топографія грає важливу роль у розвитку пожежі. Загалом, чим крутіший нахил схилу, тим швидше вогонь може розповсюджуватися вгору. Наявні три рівні нахилу схилу: плоский (менше 10%), середній (10-30%) і крутий (понад 30%). Сухі канали можуть слугувати "коридорами" для вогню, навіть протилежним напрямком від вітру, тоді як вододільні лінії можуть зупиняти розповсюдження

вогню. Комбінація значної кількості сухих горючих матеріалів та сприятливих метеорологічних та топографічних умов збільшують ризик виникнення пожеж у лісі [24].

Багато країн, такі як Австралія, США, Канада, Бразилія та країни Європи, стикалися з катастрофічними лісовими пожежами, включаючи ті, які виникали на луках та в чагарниках. Їх служби порятунку мали велику складність в керуванні цими природними стихіями, і для їх придушення вимагалася мобілізація великих рятувальних сил і значних обсягів засобів для пригнічення вогню. Особливо варто зазначити пожежі травостою у місцевостях, де трава покриває великі площі. Трава є одним із найбільш поширених горючих матеріалів для пожеж у лісі та пожеж на луках. Площа таких пожеж стрімко збільшується, через що такі пожежі становлять загрозу для життя та майна [18].

Тепла та ясна погода сприяють збільшенню ризику пожеж у різних екосистемах, включаючи природні масиви, присадибні ділянки і ліси. Наприклад, лише за один день в Дніпропетровській області сталося 11 пожеж в природних масивах, загальна площа яких становила 9,4 гектари. Найпоширенішими видами пожеж в екосистемах є наслідком спалювання сухої трави (рис. 2. 1), і ця ситуація спричинена головним чином людською діяльністю. Громадяни спалюють сміття і торішню траву на своїх городах та земельних ділянках, і діти можуть підпалювати траву біля доріг або на пустирях [23].



Рисунок 2.1 – Горіння трав'яного покриття

Відновлення екосистем після пожеж можуть бути дуже тривалим, і деякі їх складові можуть бути втрачені назавжди без активної участі людини.

В Україні спостерігається часте горіння природних трав'яних і очеретяних масивів. Вони горять щороку або навіть частіше, що також має вплив на концентрацію парникових газів у атмосфері. У 2019 році було проведено аналіз ситуації щодо запобігання пожежам у природних екосистемах України. Його результати виявили, що кількість пожеж на торфовищах, у лісах, сільськогосподарських угіддях і в відкритих місцевостях значно збільшилася. У порівнянні з показниками 2018 року їх кількість зростає вдвічі а їх площа збільшилася на 13,8%. Найбільше пожеж цього виду зафіксовано в Дніпропетровській, Київській та Одеській областях [18].

Причини виникнення лісових пожеж розділяють на групи, зображені на рис. 2.2



Рисунок 2.2 – Причини виникнення лісових пожеж

Пожежі в лісних масивах можуть виникати з різних причин. Природні причини включають блискавки, самопідпал торфу, вугілля або масове розповсюдження шкідливих жуків, які пошкоджують кору дерев. З іншого боку, пожежі антропогенного походження виникають через дії людини, які не завжди пов'язані безпосередньо з лісництвом. Це може бути підвищення небезпеки пожеж біля залізничних магістралей або розміщення недалеко від населених пунктів. Небезпечне поводження з вогнем під час відпочинку або під час заготівлі лісової продукції також може призвести до пожеж [25].

Є чотири категорії причин, що спричиняють стрімкий розвиток пожеж за Арнольдом та Баком, які зображені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Категорії причин, які спричиняють швидкий розвиток пожеж

Категорія	Причина
Перша	Займання площі за рахунок декількох розподілених по площі осередків горіння; вторинне горіння за площею, пошкодженою слабкою пожежею, з наявністю велика кількість недогорілих паливних матеріалів; загорання крон листяних насаджень, що підсушені низовою пожежею; пожежний вихор.
Друга	Підсилення пожеж, зумовлених атмосферними умовами: розсіювання нічної інверсії провокує підсилення процесу газообміну на пожежі і швидкому розповсюдженню пожежі; акумулювання горючих газів поблизу ґрунту при низьких інверсіях.
Третя	Рельєф: пожежа в горних умовах підсилюється на хребті, внаслідок сильного вітру; пожежа на одному схилі може перейти на інший, так як виділяється достатня кількість тепла для загорання іншого.
Четверта	Стан поверхні горіння, що є комплексом складових паливного матеріалу, погоди та рельєфу в критичних пропорціях. Незначна зміна одного з факторів здатна призвести до «вибуху».

Причини лісових пожеж у 2019 році включають в себе кілька основних чинників, таких як спалювання сухої рослинності, недотримання вимог пожежної безпеки, відпочинок в лісових масивах та порушення правил щодо попередження пожеж під час проведення лісгосподарських робіт. Підпал травостою став особливою тенденцією в цей період, спричиняючи збільшення

кількості лісових пожеж. Ці причини можуть становити загрозу складам зберігання боєприпасів.

Часто пожежі у торф'яних масивах починаються від горіння травостою або очерету, особливо під час випалювання трав'яних покривів навесні. Тління торфу також може призвести до “вторинних” пожеж, коли вогонь розповсюджується від країв вогнища тління. Затруднення у виробництві вогнегасних речовин для гасіння торф'яних пожеж виникає через технічні аспекти розробки уніфікованої методики оцінки поглинання води торфом та водними розчинами вогнегасних речовин. Важливо зазначити, що у зв'язку з неможливістю створення еталонного зразка торфу, цей процес стає досить складним [26].

Торф використовується як паливо століттями, оскільки має високий вміст вуглецю, що робить його популярним для приготування їжі та підігрівання з найдавніших часів. Він накопичується як органічний матеріал, що складається з листя, трави, повалених дерев та кореневої системи, протягом десятиліть або століть. У разі загоряння, часто внаслідок пожежі або удару блискавки, торф може тліти або горіти непомічено протягом значного періоду часу – декількох місяців, років або навіть століть.

Торф'яні пожежі становлять глобальну загрозу, маючи серйозні економічні та екологічні наслідки.

Аналіз ситуації показує, що погіршення пожежної безпеки на торфовищах у 2019 році є результатом не тільки надзвичайних природних умов (відсутність опадів, надмірна спека, зниження рівнів ґрунтових вод), але також і внаслідок недостатнього вжиття заходів з використання меліоративних та осушувальних систем для забезпечення належного рівня вологості на торфовищах [27].

#### **2.4 Рекомендації щодо зниження ризику виникнення пожеж**

Природні елементи, такі як дерева, трав'яниста рослинність, чагарники, лишайники та різні види мохів, включаючи шарувату рослинність, можуть стати джерелом пожежі через свою органічну масу. Органічний склад лісових



насаджень, що включає різні частини рослин (хвоя, листя, гілки) і різноманітні рослинні залишки (підстилка, деревні відходи, торф), розглядають як складні комплекси матеріалів, що можуть потенційно спричинити пожежу у лісових екосистемах. Вивчення їх характеристик (склад, запаси, вологість, теплові властивості), механізмів пожежі, попередження та методів загасання пожеж, а також оцінки природної вогнестійкості лісових насаджень, спрямоване на моделювання поведінки активних пожеж під час їхнього приборкання. Рослинні залишки, такі як стерня злаків, соняшник, кукурудза, або залишки картоплі, мають горючі властивості на сільськогосподарських ділянках. Сухі рослини, чагарники та охоронні смуги деревини є горючими матеріалами на землях, де проводяться вирубки або пасовищах.

Заходи щодо пожежної безпеки включають: навчання правилам пожежної безпеки для населення, навчання та перевірка знань посадових осіб і службовців, спільно з дітьми проведення виховної роботи в дитячих садках для усвідомлення шкідливості вогню та особистої безпеки, використання відповідних знаків безпеки на територіях об'єктів та будівель згідно з національними стандартами, а також утворення добровільних пожежних команд для запобігання та гасіння пожеж на підприємствах [26].

Документ, що регулює роботу добровільної пожежної охорони, було затверджено урядовим рішенням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 року під номером 564. У цьому документі визначено, що люди, які працюють у сфері, де існує підвищена ймовірність пожеж, перед роботою мають пройти навчання за спеціальною програмою. Регламентуються види інструктажів, порядок їх проведення та організації, а також здобуття та перевірка знань з пожежно-технічних питань. Це було встановлено Постановою Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року під номером 444 "Про затвердження Порядку навчання населення в надзвичайних ситуаціях".

У кожному підприємстві або організації повинен бути встановлений спеціальний режим в разі пожежі, який офіційно визначається відповідним документом, наприклад, наказом чи розпорядженням. Цей режим містить в собі

такі аспекти, як організація евакуаційних маршрутів, правила використання вогню, порядок проведення заходів з пожежної безпеки, вибору місць руху та стоянки транспорту, розміщення та обслуговування протипожежного обладнання. Також визначається порядок виклику пожежно-рятувальних команд та осіб, відповідальних за пожежну безпеку у разі пожежі в нічний час, вихідні або святкові дні. Вказується також порядок дій у разі пожежі, включаючи оповіщення людей, виклик пожежно-рятувальних служб, зупинку обладнання та вимкнення систем у разі застосування засобів пожежогасіння, а також правила евакуації людей та майна з урахуванням заходів безпеки.

Створення протипожежних буферних зон та збільшення відстані між легкозаймистою рослинністю та господарськими спорудами чи житловими будинками може суттєво знизити ризик виникнення різноманітних пожеж. Створення протипожежної буферної зони виявляється дуже ефективним для уповільнення чи навіть зупинення поширення вогню. Ця захисна зона видаляє горючі матеріали та легкозаймисту рослинність або зменшує їх кількість, що допомагає знизити інтенсивність горіння, включаючи висоту полум'я та випромінюване тепло. В результаті у таких зондованих територіях полегшується процес гасіння пожежі, а також спрощується доступ рятувальників до людей.

З урахуванням типу рослинності навколо села, окремого будинку чи ферми рекомендується:

1. очистити периметр населеного пункту від рослинності на відстані не менше 25 метрів для створення пожежних захисних зон. Деякі дерева можуть залишатися, але лише якщо їх нижні гілки видалені, а верхівка піднята високо від землі;
2. регулярно вивозити мертву деревину, відмерлі рослинні матеріали та сміття, яке накопичується на землі;
3. захищати всі частини будівлі за допомогою буферних зон, враховуючи, що відповідальність за підготовку цих зон покладається на власника;

4. забезпечувати чистоту на садових, присадибних ділянках чи городах в межах населеного пункту;
5. регулярно очищувати ділянки під забудову від рослинності.
6. Підходи до створення протипожежних заходів можуть бути різними в залежності від конкретних умов, проте важливо враховувати вказані принципи для ефективного захисту від пожежі.

Крім того, це також призведе до підвищення безпеки як пожежників, так і місцевого населення. Всі види доріг мають бути у належному стані й перебувати під постійним наглядом. Такий постійний моніторинг доріг і місій загалом дозволяє вчасно видаляти повалені дерева з проїжджої частини, що може створити перешкоду для доставки пожежної техніки та евакуації населення в непередбачених ситуаціях. Це покращує доступ пожежників і створює додаткові можливості для успішного порятунку цивільного населення під час пожежі.

Для поліпшення швидкості реагування важливо, щоб вулиці були чітко позначеними та розбірливими, щоб уникнути плутанини під час гасіння пожеж. Зокрема, номери будинків повинні бути чітко та послідовно вказані відповідно до їх розташування на вулиці. Заборонено паркування на кільцевих перехрестях та вузьких вулицях, оскільки це може ускладнити проїзд аварійних автомобілів та швидкої допомоги. Деревя, що ростуть вздовж вулиць, повинні залишатися на достатній відстані від дороги, а їх гілки потрібно зрізати на висоту 3-4 метри від землі [25].

Поворотні пункти для транспортних засобів на вузьких дорогах повинні розташовуватися на рівних відстанях один від одного, щоб дві пожежні машини могли проїхати одна повз одну безпечно. Це дозволить уникнути тривалих і складних маневрів із зворотним ходом, які можуть бути небезпечними у випадку пожежі.

Пожежні крани, якщо це можливо, слід проектувати відповідно до Плану пожежної охорони населених пунктів та розташовувати вздовж доріг як у населеному пункті, так і за його межами. Це дозволить швидше заповнювати

водою пожежні танкери, уникаючи необхідності пересування обладнання на великі відстані.

Виявлено, що паління листя (близько 80%) спричиняє пожежі як в Україні, так і в усьому світі, повторюючись близько 2 рази на рік на одній території. Частою причиною цих пожеж є "прибирання" садової території мешканцями, що може призвести до летальних випадків чи збитків у майні. Садові відходи (гілки, листя) на сільськогосподарських землях стали основним джерелом підпалів.

Для цього потрібно, щоб Державна екологічна інспекція кожного району чи області посилила спостереження за подібними підпалами. Волонтери можуть допомагати цій організації, звертаючись до громади безпосередньо. Рейди по будинках, спілкування з жителями та пояснення на випадках, які вже сталися, можуть відігравати важливу роль у запобіганні пожеж.

Рекомендується створювати для кожної місцевості мапу, яка відображатиме місця, дати та масштаби підпалів, разом з їх наслідками. Це буде служити наполегливою нагадівкою про відповідальність за паління листя або сміття, яке становить загрозу не тільки для власного життя, але й для життя сусідів. Це також допоможе організаціям вчасно прослідкувати та передбачати пожежі, попереджуючи місцевих мешканців.

Аналогічна карта підпалів може бути створена з використанням онлайн-сервісів, подібних до тих, що використовує NASA (рис. 2.3). Такі карти оновлюються кожні три години за умови пожежі та стеження супутниками. Така ініціатива може сприяти як визначенню ризикованих зон, так і попередженню пожеж за участю працівників та супутників.

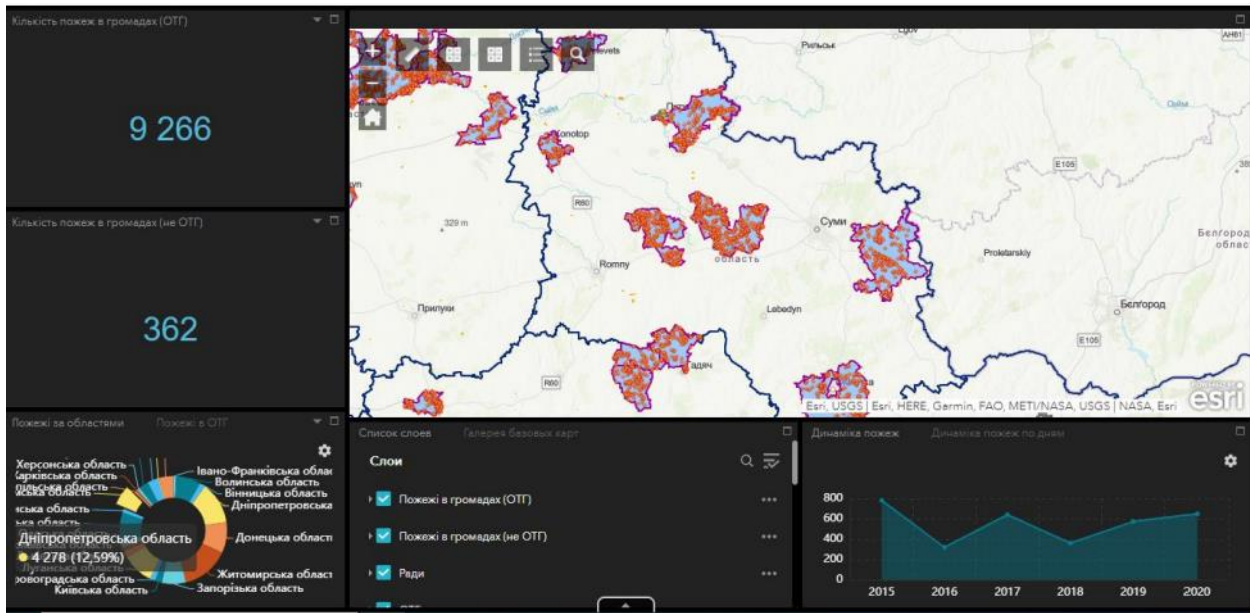


Рис. 2.3 Приклад карти пожеж зі супутників NASA

Також ефективним засобом є застосування пахоти для профілактики пожеж. Перепахування територій, де існує великий ризик загоряння або можливість поширення вогню, є сучасним інструментом, оскільки техніка сільськогосподарського призначення зараз використовує передові технології. Це оптимальне рішення, оскільки на вологому ґрунті вогонь не поширюється і гасне.

Отже, враховуючи вищевикладене та рекомендації щодо мінімізації пожеж, можна визначити, що дотримання вказаних правил суттєво зменшить випадки пожеж та у разі їх виникнення завадить поширенню вогню на всю територію. Створення додаткових буферних зон не лише зменшить ризик перенесення пожеж, але й забезпечить швидкий доступ спеціальних пожежних і рятувальних служб до місця події [26].

### **3 МЕТОДИ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ**

Кожного року в Україні реєструються сотні лісових пожеж, які завдають значних збитків цінному природному фонду, призводять до зникнення унікальних видів дерев та призводять до екологічних руйнувань. Використання космічних технологій для виявлення лісових пожеж на ранній стадії грає важливу роль. Вчасне виявлення пожеж дозволяє приймати оперативні заходи та вивчати наслідки цих пожеж.

Основними джерелами інформації про виникнення пожеж є активні вогнища горіння та пошкоджені пожежами лісові площі. Однак метод виявлення активних пожеж має свої обмеження, такі як відсутність супутників у необхідному місці в момент пожежі або обмежена видимість через хмари. Тому дані про території, пошкоджені пожежами обмежені.

Для розробки прогнозних моделей та визначення початкових параметрів необхідне розуміння закономірностей поширення та розвитку лісових пожеж. Це допоможе в прийнятті ефективних управлінських рішень щодо охорони лісних ресурсів від негативного впливу людей [27].

#### **3.1 Моделювання низових пожеж в екосистемах**

Лісова екосистема, яка є складною для аналізу, вивчається за допомогою різноманітних моделей, поділених на матеріальні та ідеальні.

Матеріальна модель у лісівництві включає пробні ділянки, створені для проведення різноманітних досліджень. Такі дослідження пожежної небезпеки, такі як відпал, проводяться на таких пробних ділянках з метою розповсюдження результатів на більші лісові території. Van Wagner виклав результати досліджень лісових пожеж у природних умовах та їх основні параметри. Однак дослідження, пов'язані з вогневими випробуваннями, вимагають великих затрат і пов'язані з певною небезпекою. Тому процеси виникнення та поширення лісових пожеж досліджуються на моделях зменшеного масштабу, як у відкритих ділянках, так і

в лабораторних умовах . Ці моделі дозволяють оцінити вплив різних факторів на швидкість поширення вогню. Проте вони не забезпечують можливості дослідження перехідних станів пожежі, таких як перехід від низової пожежі до верхової, або виникнення вогняних смерчів, конвекційних колонок та інших важливих аспектів. Саме тому вчені використовують теоретичні моделі.

Моделі, використовувані для оцінки пожежної небезпеки, поділяють на дві групи: ті, які враховують лісові пожежі, та ті, які враховують середовище лісу, але не придатні для оцінки пожежної небезпеки. Перша група моделей включає моделі пожежонебезпечного стану лісу, загоряння горючих матеріалів та поширення пожежі. Однак вони не завжди враховують зміни в середовищі лісу, пов'язані з екологічними процесами. Для цього застосовують екологічні моделі, які дозволяють оцінити динаміку запасу та властивостей горючих матеріалів і багато іншого.

Різноманітні моделі дозволяють виявляти пожежонебезпечний стан та запобігати лісовим пожежам. Огляд таких моделей провів R. O. Weber, розділяючи їх на статистичні, емпіричні та фізичні. Наприклад, статистичні моделі ґрунтуються на залежностях, отриманих виключно на основі досліджень тестових пожеж, та використовуються для визначення швидкості поширення вогню. Це моделі, засновані на принципі клітинних автоматів та перколяції. Емпіричні моделі базуються на принципі накопичення енергії і не розрізняються серед моделей теплопровідності. Фізичні моделі описують процеси теплопровідності. Зокрема, Вебер виділяє статистичну модель Мак-Артура і Нобеля для визначення коефіцієнта пожежної небезпеки та швидкості поширення пожежі. Однак ці моделі, включаючи інші статистичні моделі, не завжди застосовні для конкретних однорідних горючих матеріалів та природно-кліматичних умов.

Процес поширення лісової пожежі залежить від різних факторів, включаючи властивості горючого матеріалу та умови навколишнього середовища. Численні дослідження присвячені проблемам поширення лісових

пожеж, однак уваги, яка приділяється екологічним особливостям лісів недостатньо. Зокрема, неоднорідність насадження не завжди враховується.

Ліси мають складну просторову структуру, яка визначається різноманітними зовнішніми та внутрішніми чинниками, такими як нерівномірність і різноманітність рослинного покриву, властивості матеріалів, густина та конфігурація насаджень, а також вплив навколишнього середовища на характеристики горючих матеріалів. У гірських регіонах, характер розповсюдження пожежі є специфічним і залежить від різних факторів, таких як вітер, взаємне розташування дерев, ухил місцевості, експозиція та інші [28].

Для моделювання поширення лісових пожеж часто використовуються точковий і хвилевий підходи. Точковий підхід розглядає поширення пожежі з кожної точки на сусідні, розташовані в центрах клітин сітки, враховуючи швидкості поширення пожежі в кожному з восьми напрямків. Хвилевий підхід моделює межу полум'я з точки зору її форми як кривої. Доррер та співавтори використали складний підхід з динамічним програмуванням для моделювання поширення пожежі.

Моделі поширення пожеж на площині базуються на принципах теорії клітинних автоматів, принципів Гюйгенса-Френеля і фільтрування. Наприклад, модель FARSITE враховує умови середовища, вид горючого матеріалу та геометричні параметри лісу (рис. 3.1)

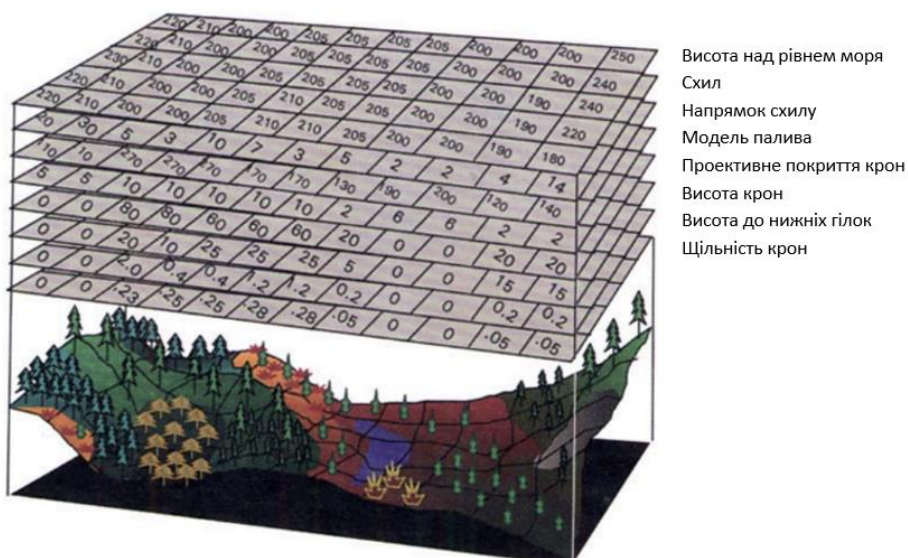


Рисунок 3.1 – Вхідні дані для програми FARSITE



Більшість моделей передбачають однорідність середовища, але ліси переважно є неоднорідними. Модель EMBYR враховує цю неоднорідність. Однією з найпоширеніших моделей є модель R. C. Rothermel, яка враховує випадки поширення пожежі плоскою поверхнею та поверхнею під кутом, з впливом та без впливу вітру. На її основі створені інші моделі, такі як О. А. Тарасенка і J. H. Scott. На важливість врахування особливостей лісових пожеж звернув увагу М. Е. Alexander.

До емпіричних моделей належать моделі, що побудовані на принципі збереження енергії, проте не відносяться до моделей поширювання тепла. Такі моделі використовують параметри, які визначаються експериментальним шляхом і характеризують горючий матеріал.

Більшість фізичних моделей базуються на рівняннях математичної фізики і описують процеси теплопередачі.

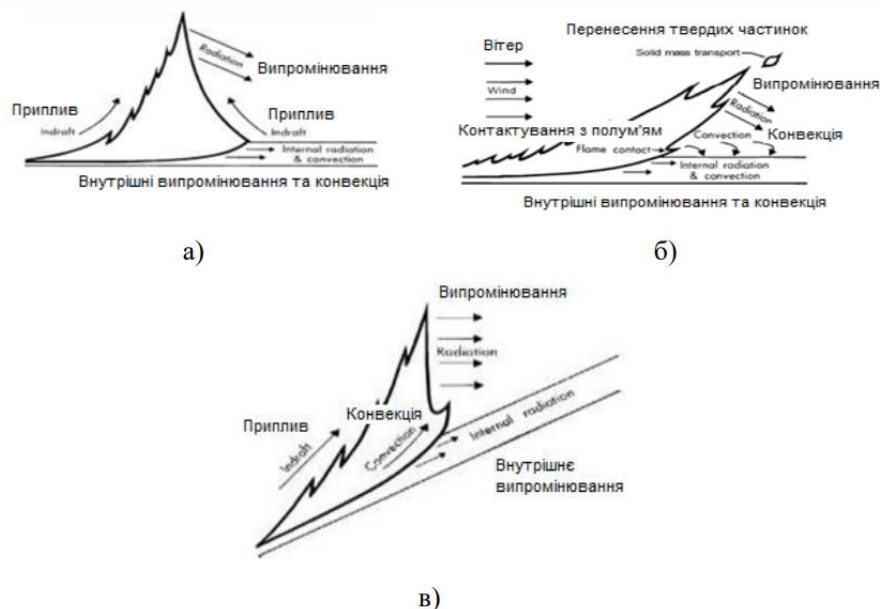


Рисунок 3.2 – Способи поширювання пожежі :

- а) – горизонтальною поверхнею; б) – горизонтальною поверхнею під дією вітру; в) – похилою поверхнею

Класифікація моделей проводилася й іншими дослідниками. Наприклад, Н. S. Не визначив основні критерії класифікації моделей. Залежно від характеру та

практичного застосування, моделі можуть бути класифіковані як теоретичні, моделі стратегічного планування і специфічні тактичні [29].

А. М. Гришин також розглянув класифікацію моделей поширення лісових пожеж і поділив їх на 4 групи:

1. Моделі, що прогнозують швидкість поширення лісової пожежі.
2. Моделі, що прогнозують контури лісової пожежі.
3. Моделі, що характеризують перебіг процесів тепломасоперенесення.
4. Загальні математичні моделі, які враховують всі характеристики, такі як швидкість поширення, контур пожежі, температурні поля, поля концентрацій компонентів і швидкості, як у фронті, так і в зоні лісової пожежі.

Багато з цих моделей, через спробу повністю описати процес поширення пожежі в складному неоднорідному середовищі, вимагають врахування багатьох параметрів, що може бути ускладнюючим і обмежуючим фактором для їх практичного застосування. Такі моделі часто спрощують на практиці, але значне спрощення може призвести до неадекватного відображення процесів під час пожежі.

Розглянуті моделі, як вітчизняні, так і зарубіжні, або надто складні у своєму підході, або надають загальне уявлення про процеси, пов'язані з безпекою лісів від пожеж. Ці моделі не враховують специфіку лісів, їх конкретний тип і структуру, і не здатні точно відобразити вплив заходів лісівництва на пожежну небезпеку. Саме тому сьогодні важливою задачею є розробка й вдосконалення математичних моделей лісових пожеж та відповідних фізичних процесів, які спричиняють їх появу та подальший розвиток. Ці моделі повинні якнайточніше відображати реальні умови, враховуючи найсуттєвіші фактори, які впливають на характеристики пожежі, зокрема погодні умови та особливості розташування рослин у лісовому угрупованні [30].

### **3.1 Системи дослідження негативних впливів лісових пожеж**

Аналіз статистики лісових пожеж на території України свідчить про високий рівень пожежної небезпеки у країні. Ця проблема негативно впливає на всі аспекти життя, включаючи аспекти довкілля. Важливо зауважити, що наслідки лісових пожеж мають далекосяжний вплив не лише на регіональному рівні, але й мають глобальний вплив на клімат планети. Один із негативних наслідків полягає у підвищенні вмісту вуглекислого газу в атмосфері.

На рисунку 3.3 представлена динаміка змін у вмісті оксидів вуглецю в атмосфері протягом останніх 800 000 років.

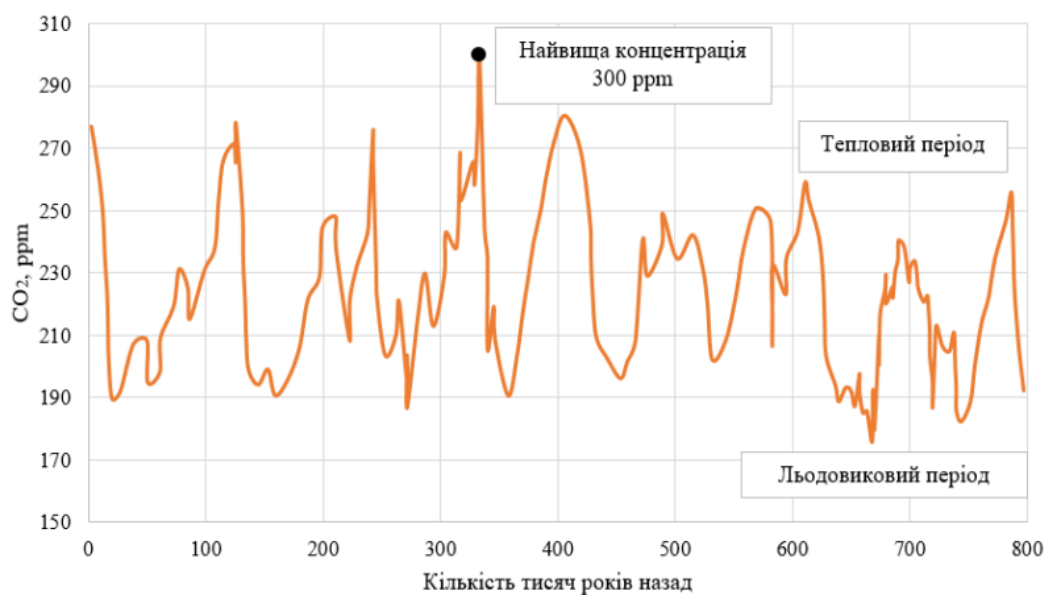


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни вмісту оксидів вуглецю в атмосфері

Проводячи аналіз концентрації оксидів вуглецю, помітно, що існує тенденція до зростання вмісту цього шкідливого газу в атмосфері. Це сприяє глобальному потеплінню клімату та зростанню рівня акселерації [31].

Потрібно враховувати, що людська діяльність головним чином є причиною виникнення лісових пожеж в лісових екосистемах. Через малу кількість опадів та зростання температури зростає ризик загоряння. Також ці чинники впливають на швидкість розповсюдження пожежі.

При детальному аналізі даних про природу пожеж було виявлено п'ять груп закономірностей в їх виникненні та розвитку, які є важливими при створенні прогнозних моделей:

Географічні закономірності: Вони пов'язані з конкретним географічним розташуванням, включають кліматичні та рослинні зони.

Кліматичні закономірності: Спостерігаються спалахи пожеж у періоди років засухи [32].

Сезонні закономірності: Пов'язані зі змінами клімату та розвитком рослинності, включають щорічні повторення, поділ пожеж за сезонами та зміну характеру пожеж протягом цих періодів.

Періодичні закономірності: Залежать від зміни погодних умов протягом природних синоптичних періодів, включають періодичне зростання та зменшення сприятливих умов для пожеж.

Добові закономірності: Обумовлені змінами метеорологічних умов протягом доби і пов'язані зі спалахами пожеж у певний час доби.

Одним з основних недоліків існуючих систем є їх оцінка пожежної небезпеки, яка базується на аналізі статистичних даних про пожежі в інших країнах. Ці системи не враховують кліматичні та природні особливості України, характеристики її рослинного покриву та інші місцеві фактори. Таким чином, вони не підходять для прогнозування пожеж у цій країні.

Аналіз показав, що негативні впливи від лісових пожеж є складними та вимагають комплексного підходу. З цього приводу, рекомендується використовувати сучасні методи та технології Геоінформаційних систем (ГІС), оскільки моделювання пожеж стає ефективним лише у поєднанні з геоданими та іншими геопросторовими інформаційними ресурсами [33]..

### **3.2 Аналіз ГІС відслідковування зміни довкілля**

В сучасних умовах важливо розробити програмно-алгоритмічне забезпечення для моніторингу та передбачення наслідків негативного впливу антропогенної діяльності, зокрема лісових пожеж. Дослідження показали, що 75-80% лісових пожеж стаються через недбале ставлення людей.

Використання інтегрованих геоінформаційних технологій допомагає виявити та відслідковувати місця загорянь та дозволяє зберігати та ефективно

використовувати просторову інформацію. Застосування ГІС-технологій у дослідженні лісових пожеж сприяє пошуку джерел загорянь, що сприяє збереженню природних ресурсів та захисту життя людей.

Моніторинг та своєчасна боротьба з пожежами можливі завдяки передбаченню та ефективному аналізу показників пожежної небезпеки та ймовірності виникнення пожеж. ГІС можуть інтегрувати інформацію з різних джерел, включаючи оцифровані карти та космічні знімки.

Сучасна цивілізація більше не може ігнорувати свій вплив на екосистеми. Геоінформаційні системи грають важливу роль у відслідковуванні негативного впливу антропогенної діяльності на природу [34].

Серед останніх наукових досліджень і джерел інформації в галузі ділянок з підвищеним ризиком виникнення пожеж і розробки прогнозних моделей для передбачення появи лісових пожеж було виділено численні роботи.

В роботах Васильєва А.В., Краснящих А.В., Коротаєва В.В. описано створення системи для виявлення та відстеження лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів. У цих наукових дослідженнях використовується метод об'єднання зображень із тепловізійних та телевізійних каналів, а також детально розглядається архітектура спеціального програмного забезпечення.

Щодо роботи Худова Г.В., Кучука Г.А., Маковейчука М., Крижного А., вона акцентує увагу на вивченні відомих методів сегментації зображень, отриманих за допомогою бортових систем оптико-електронного спостереження.

Деякі дослідники підкреслюють потенціал вивчення супутникових даних для оцінювання пошкоджень, завданих лісовими пожежами. Результати цих досліджень показують зв'язок між ступенем пошкодження і показниками коефіцієнта відображення в середньому інфрачервоному каналі, нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI та іншими показниками, отриманими за допомогою супутникових зображень. Вказується на доцільність поєднання супутникових даних, зібраних до та після пожежі. Більшість цих досліджень обмежується малими територіями, де виникли окремі пожежі.

Надзвичайно перспективним науковим напрямком є дослідження, які проводяться Барталевим О.М.. Його роботи спрямовані на розробку методів для оцінки стану і динаміки лісів на основі даних, отриманих завдяки космічним спостереженням. Він приділяє особливу увагу застосуванню систем дистанційного зондування для контролю за станом природи та використовує методи розпізнавання та обробки зображень, математичного моделювання, аналізу часових серій даних, математичної статистики, геоінформатики, системного та прикладного програмування. У своїй роботі Триснюк В.М. та Триснюк Т.В. розглядають методи просторово-часового дослідження лісових масивів, що базуються на кореляційному синтезі даних з дистанційного зондування.

Слід зазначити, що в галузі сільського господарства вже досягнуті значні успіхи в застосуванні ГІС-технологій. Використання супутникових даних дозволяє прогнозувати врожайність та моніторити поля для виявлення загроз. Датчики надають зображення у різних спектрах, що дозволяє використовувати численні спектральні індекси, такі як нормалізований диференційований вегетаційний індекс (NDVI), індекс вмісту хлорофілу в рослинах (CCCI), нормалізований індекс червоного краю (NDRE), модифікований ґрунтово-керований вегетаційний індекс (NSAVI), які допомагають визначити вміст азоту та мінімізувати вплив ґрунтового фону на ранніх стадіях росту рослин.

Також важливо зазначити, що деякі дослідники, такі як Поморцева О.Є., Костюченко Ю.В., Бурштинська Х., Долинська І., Кохан С.С., а також зарубіжні вчені, включаючи Grégoire J.-M., Pinnock S, Jones P.D., Moberg A, C. Donald Ahrens та інших, проводять наукові дослідження в галузі застосування ГІС-технологій в різних галузях, що виявляє високий потенціал цих технологій у вивченні навколишнього середовища.

На сьогодні існує безліч інформаційних систем, які ефективно виконують завдання з візуалізації та аналізу даних. Проте, серед цих систем обмежена кількість таких, які придатні для обробки інформації, пов'язаної із змінами у

рослинному покриві, зокрема внаслідок лісових пожеж. Деякі інформаційно-аналітичні платформи варто виділити особливою увагою [35].

NASA Earth Observatory є серйозним ресурсом, який надає доступ до супутникових знімків та кліматичних даних. Цей веб-сайт постійно оновлюється актуальними даними та є важливим засобом для накопичення інформації.

Глобальні моделі рослинності спостерігаються за допомогою супутників і використовуються для аналізу змін у рослинному покриві, які виникають внаслідок кліматичних змін та дії природних та антропогенних чинників. Рослинність представлена на картах за допомогою індексу зеленості, який базується на різних факторах. Місця зі швидким ростом рослин та густим листям мають високий індекс і відображаються у темно-зелених кольорах. Території з низькою рослинністю, де індекс низький, позначаються блідими кольорами. Сірі кольори вказують на відсутність рослинності. На рисунку 3.4 наведено приклад глобальної карти рослинності, представленої на веб-сайті NASA Earth Observatory.

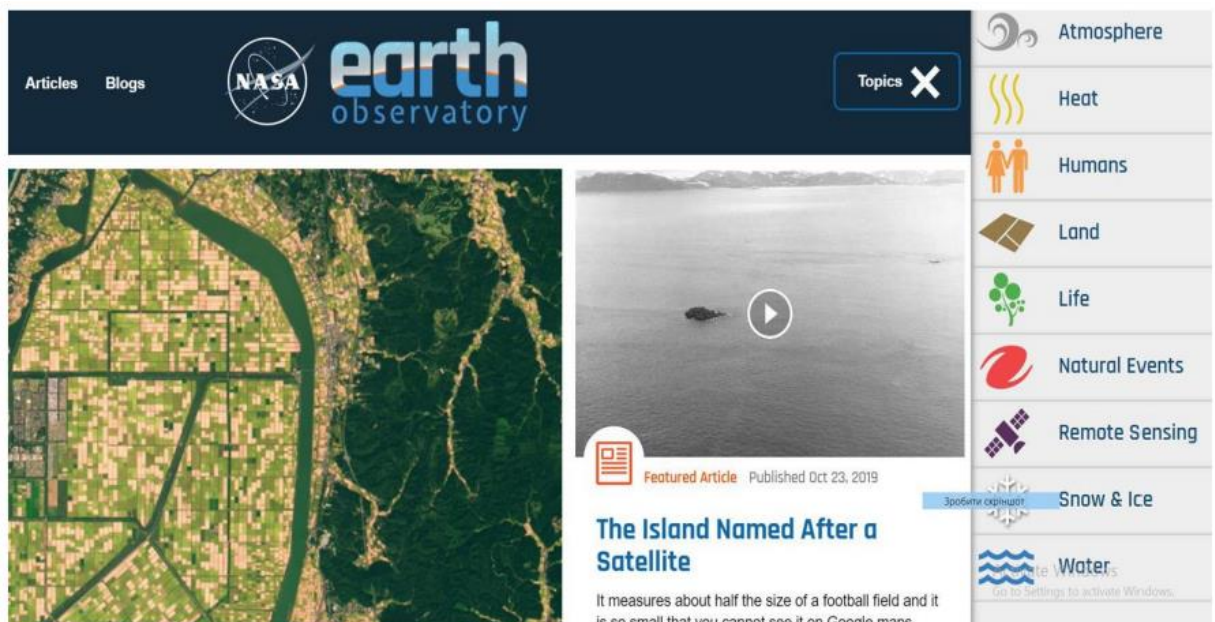


Рисунок 3.4 – Глобальна рослинна карта

Головною перевагою цього інтерактивного веб-застосунку для візуалізації та аналізу даних є можливість безпосередньо отримувати дані з супутників

NASA через Інтернет, уникнувши складних процедур їх збору та обробки. Незалежно від конкретної Геоінформаційної системи, яка бере участь у цьому процесі, проблема цифрування ландшафту залишається важкою задачею. Оновлення карт враховуючи зміни у ландшафті, залишається актуальною проблемою [36].

Американський проект "Земний архів" спрямований на "лазерне картографування" земного ландшафту за допомогою лідарів, що призводить до створення проєкту під назвою "The Earth Archive". Головною метою цього проєкту є створення тривимірної карти світу для прогнозування кліматичних змін та відстеження змін у земних ландшафтах. Для досягнення цих цілей, проєкт передбачає використання лідарів, які випромінюють густу сітку лазерних променів для обстеження ландшафту.

Лідар виявляється ефективним інструментом для дистанційного вимірювання у оптичному діапазоні. У системах машинного бачення, скануючі лідари генерують двовимірні або тривимірні зображення навколишнього середовища. "Атмосферні" лідари визначають відстані до непрозорих об'єктів, які відбивають світло, та проводять аналіз властивостей світла, яке розсіюється в прозорому середовищі.

Для моделювання складних екологічних систем розроблено багато комп'ютерних моделей. Ці моделі інтегрують різні методи та знання з різних галузей науки. Наприклад, модель FORRUS-S є екологічною моделлю, яка поєднує в собі декілька інших моделей для вивчення поведінки системи в різних сценаріях. Система FORRUS-S базується на протоколі обміну даними та призначена для інтеграції різних моделей та передбачення стану лісів. Ці комп'ютерні моделі дозволяють аналізувати взаємозв'язки між ендегенними процесами та зовнішніми факторами, що дозволяє прогнозувати поведінку системи в залежності від зміни параметрів середовища, включаючи кліматичні характеристики [37].

Інформація щодо моделей та їх інтеграції наведена в таблиці 3.1



Таблиця 3.1 – Характеристика інтеграційних моделей

Модуль	Період моделювання	Вихідні дані	Результат (вихідні змінні)
1	2	3	4
FORRUS-S	5 років	Таксаційний опис, просторова структура виділів за космічними знімками	Сировина та продукція лісів, рекреаційний та Господарський потенціал. Економічна оцінка
Romul Hum	1 місяць	Гідрологічні сталі. Вміст азоту, вологість підстилки та мінерального ґрунту, температура	Геохімічні характеристики ґрунтів (накопичення вуглецю та азоту)
SCLISS	1 місяць	Гідрофізичні властивості ґрунтів, метеодані, породний склад насаджень	Забезпечення ґрунтів теплом та вологою
Bio Calc	1 рік	Таксаційний опис, типи лісів, вихідні дані моделювання динаміки екосистем лісу	Збереження біологічного різновиду рослинного ґрунтового покриву

Побудова сучасних інформаційних програмних систем зазвичай ґрунтується на модульній архітектурі, що має кілька переваг:

1. Розробка та модифікація кожного окремого компонента програмної системи відбувається окремо, що полегшує роботу розробників.

2. Модульна структура системи дозволяє поступово вдосконалювати і розширювати функціональність програми.
3. Різні компоненти програми можуть бути розроблені різними розробниками та написані різними мовами програмування.
4. Легка інтеграція з іншими моделями та програмами.
5. Компоненти системи є взаємозамінними, що дозволяє використовувати різні моделі та порівнювати їх ефективність.
6. Система може змінювати свою функціональність в залежності від потреб користувачів.

Проте основним недоліком такого підходу є постійна потреба у доповненні ядра системи новими моделями для моделювання різних процесів, які входять в склад системи FORRUS-S [38].

Для отримання кількісних та якісних характеристик стану земельних територій розроблено різні методи та алгоритми обробки космічних зображень. Вони ґрунтуються на кореляційній теорії, яка дозволяє ефективно розпізнавати та класифікувати ці дані. Також було проведено дослідження просторово-часової сегментації візуальних даних для їх використання в різних мережах та складних системах.

Аналіз існуючих веб-застосунків для роботи з екологічними показниками показав, що вони мають ряд недоліків, таких як:

1. Використання рідкісних технологій для розробки веб-клієнтів, що ускладнює підтримку, модернізацію та розширення функціоналу.
2. Застарілий користувацький інтерфейс, який не відповідає сучасним дизайнерським стандартам, що ускладнює користування програмами.
3. Обмежений функціонал для аналізу та візуалізації локальних даних та відсутність програмного математичного апарату.
4. Високий поріг входження для користувачів, що обмежує кількість користувачів.
5. Недостатні можливості для візуалізації мікрокліматичних показників.

У підсумку, існує серйозний дефіцит комп'ютерних систем для аналізу та візуалізації екологічних даних. Багато з них є платними та не доступними для безкоштовного використання. Також існують обмеження в їх функціоналі та здатності аналізувати дані та робити прогнози. Тому важливо використовувати математичні моделі для розробки програмних застосунків, які дозволять досліджувати процеси, пов'язані з виникненням та поширенням лісових пожеж [39].

### **3.4 Моніторинг лісових пожеж з використанням оптичних датчиків диму, газу та мікрохвиль**

Виявлення та контроль пожеж з використанням оптичних датчиків диму, газу та мікрохвиль проводиться об'єднаними науковими зусиллями компаній, інститутів та університетів. Їх спільна праця полягає в створенні інтегрованої, але модульної системи для швидкого розпізнавання та ліквідації лісових пожеж. Цей підхід ґрунтується на використанні різноманітних систем розпізнавання, які адаптуються до різних ситуацій, враховуючи ризик, розмір території та наявність людей.

На великих територіях рекомендується використовувати лише технології дистанційного зондування, наприклад, системи відеоспостереження, для раннього виявлення. Для уникнення помилкових тривог безпілотні літальні апарати, обладнані газовими датчиками та тепловими камерами, використовуються для наведення на місце пожежі та її розвідки. Після успішного стримування пожежі ці апарати можуть використовуватись як засоби пожежного контролю для запобігання її повторному загорянню [40].

Швидке та ефективне виявлення є ключовим фактором у боротьбі з лісовими пожежами. Для запобігання неконтрольованого поширення вогню важливо виявити його на початковій стадії та завадити подальшому розповсюдженню. Необхідно швидко реагувати, перевозячи необхідне пожежне обладнання та залучаючи кваліфікованих фахівців на місце пожежі. Також потрібні матеріально-технічне забезпечення та постійний моніторинг для

успішного ліквідації наслідків вогню. Все це вимагає комплексного підходу, включаючи раннє виявлення, дистанційне зондування, необхідне обладнання та навчання [41].

Платформа для системи раннього виявлення пожеж – це автономний літаючий відеодрон AirRobot AR100-B, який може самостійно навігуватися в будь-яких умовах. Цей безпілотник є бюджетною альтернативою пілотованим вертольотам для повітряного спостереження. Він дозволяє пожежній охороні отримати повний обзор ситуації під час місій, підтверджувати тривоги та здійснювати розвідку, особливо вночі, коли інші літаки не ефективні.

Детектор пожежних газів у цій системі аналізує подачу газів через повітряний потік за допомогою напівпровідникових газових датчиків. Захисний ковпачок забезпечує захист від забруднення пилом і вологою, щоб уникнути впливу аерозолів, таких як пил, бруд, туман або конденсація води, на масив датчиків. Система датчиків використовується для перевірки ситуацій, виявлених відеосистемою, та для спостереження за тим, як вогонь загасає.

Враховуючи екстремальні умови турбулентності, викликані вітром у лісових областях, датчики повинні бути дуже чутливими для низьких концентрацій диму. Використовуються газові датчики та аспіраційна система для досягнення цієї чутливості. Ця програма вимагає специфічного методу тестування під час розробки алгоритму, відмінного від стандартних методів, що застосовуються до димових детекторів у будинках.

Головний фокус системи – раннє виявлення димових пожеж для мінімізації збитків. Для високоінтенсивних лісових пожеж, які важко контролювати, існує великий ризик. Щоб уникнути помилкових тривог, особливо в складних умовах, таких як лісові пожежі в горах, безпілотники з дистанційним управлінням можуть направитися до місця пожежі для підтвердження походження диму, що зменшить ймовірність помилкових сигналів [40].

Мікрохвильовий радіометр, який пропонується, спроможний виявляти випромінювання вогню на частоті 22,3 ГГц. Згідно з законом Планка, чорне тіло має свій максимум потужності випромінювання в інфрачервоній області.

Оскільки припускається, що вогонь має схожі характеристики з чорним тілом, застосування звичайних ІЧ-камер у системах виявлення пожеж є обґрунтованим. Дослідження також показало, що виявлення пожежі можливе за допомогою мікрохвильових датчиків.

Крім того, мікрохвильовий радіометр проявляє високу ефективність при проникненні через дим, пил і туман, що є характерним для датчиків, що функціонують в області нижчих ГГц. Застосування цієї технології дозволяє виявляти гарячі точки в областях, заповнених димом. Також слід відзначити, що мікрохвильовий радіометр може ефективно виявляти гарячі точки під поверхнею землі після гасіння лісової пожежі, навіть якщо вогонь прикритий тонкими шарами листя [42].

#### **4 РОЗРАХУНОК РОЗМІРУ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН, ЯКІ ВИДІЛЯЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗГОРАННЯ ЛІСІВ**

У період введення військового стану ухвалено спеціальний метод розрахунку та оцінки збитків від забруднення атмосферного повітря, пов'язаного з воєнним станом, надзвичайними ситуаціями та іншими небезпечними подіями. Цей метод схвалений наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 175 від 13 квітня 2022 року [43].

Сам процес оцінки еколого-економічних збитків від забруднення повітря складається з двох етапів:

1. Визначення обсягу забруднюючих речовин, які потрапили в атмосферу.
2. Розрахунок фінансового збитку з урахуванням шкідливості кожної забруднюючої речовини.

Для того, щоб розрахувати кількість забруднюючих речовин, що надходять у повітря в результаті лісових пожеж використовують формулу 4.1:

$$B = qi \times M, \quad (4.1)$$

де:  $B$  – загальна маса забруднюючих речовин, які потрапили в атмосферу;  
 $qi$  – кількість викидів забруднюючих речовин, яка утворюється при спалюванні 1 кг, 1 тони або 1 кубічного метра конкретного матеріалу, продукту чи сировини та визначається за допомогою довідників та інших вихідних джерел;  
 $i$  - конкретна забруднююча речовина;  $M$  – маса або об'єм матеріалу, що піддається спалюванню, продукту чи сировини.

Для розрахунку загальних викидів в атмосферу під час лісових пожеж використовують формулу 4.2:

$$B = qi \times S, \quad (4.2)$$

де:  $V$  – загальні викиди;

$q_i$  – середні викиди під час спалювання одного гектара лісу, т/га;

$S$  – площа пожежі, га.

Довідники та інші документи надають конкретні дані про середні викиди забруднюючих речовин, що виникають при спалюванні одного гектара лісу.

Для визначення розміру завданої шкоди від неорганізованих викидів забруднюючих речовин або їх сумішей в атмосферу під час надзвичайних ситуацій або в умовах воєнного стану можна скористатися формулою 4.3:

$$P_{ш} = V \times C_{п} \times K_{неб} \times K_{в} \times K_{мп} \times K_{пп} \quad (4.3)$$

Розшифрування формули 4.3 наведено в таблиці в додатку Б.

Необхідна інформація для фіксації збитків навколишньому середовищу від забруднення повітря включає:

- Фото або відеоматеріали, які свідчать про небезпечну аварію та викликане нею забруднення повітря.

- Дата та час, коли були визначені завдані збитки.

- При можливості, інформація, необхідна для розрахунку розміру завданої шкоди, така, як:

1. Причина забруднення атмосфери – лісові пожежі (назва рослиного матеріалу, що горить. Наприклад деревина)

2. Речовини, що спричиняють забруднення атмосфери: Пил, карбон (IV) оксид (вуглекислий газ), карбон (II) оксид (чадний газ), нітроген оксиди та ін.

3. Площа пожежі (у гектарах) [44].

#### **4.1 Визначення кількості забруднюючих речовин, що надійшли в атмосферу під час згорання лісових масивів**

Для визначення маси викидів забруднюючих речовин, що виділяються під час згорання лісів в атмосферу, використовується формула 4.2.

$$B = qi \times S, \quad (4.2)$$

де:  $B$  – загальні викиди;

$qi$  – середні викиди під час спалювання одного гектара лісу, т/га;

$S$  – площа пожежі, га.

Значення  $qi$  представляє собою параметр, включений до методики розрахунку непередбачених викидів забруднюючих речовин або їх суми в атмосферне повітря, що виникають в результаті надзвичайних ситуацій чи під час воєнного стану. Він наведений у додатку В. Цей параметр служить для визначення обсягу еколого-економічних збитків. Сумарна площа пожеж, що виникли з травня по вересень 2023 року на території України наведено на рисунку 4.1.

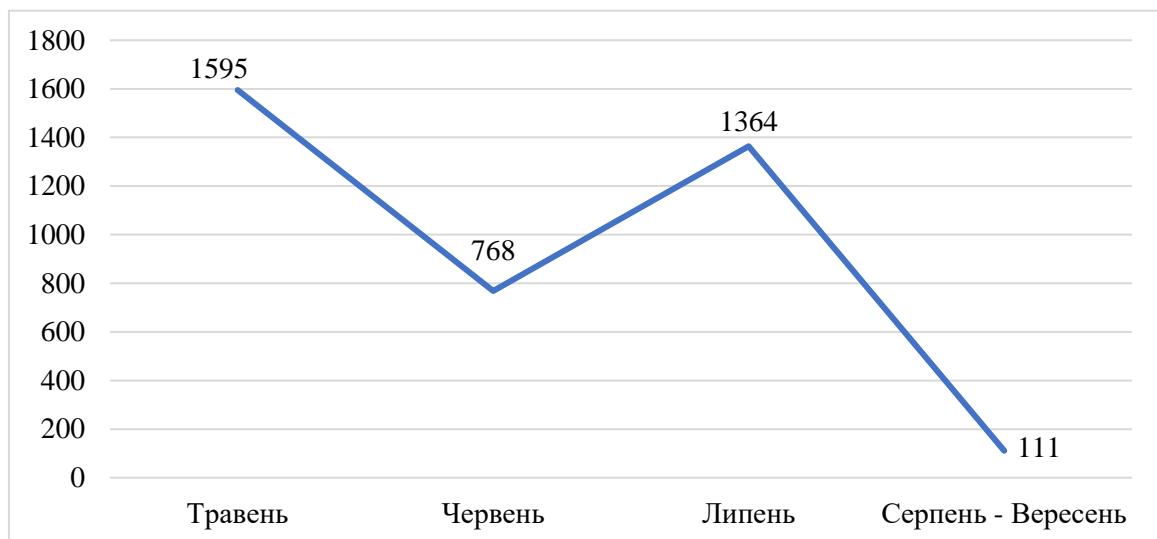


Рисунок 4.1 – Динаміка згорання площі лісів у гектарах, помісячно

Для розрахунку загальних викидів нам необхідно дізнатися загальну площу пожеж. Для цього необхідно додати всі значення, наведені на рисунку 4.1

$$S = 1595 + 768 + 1364 + 111 = 3838 \text{ га}$$

Скориставшись формулою 4.2 розрахуємо масу викидів для 17 забруднюючих речовин, що потрапляють у атмосферу внаслідок лісових пожеж.



$$B(NO_2) = 0,1 \times 3838 = 383,3 \text{ т};$$

$$B(NH_3) = 0,02 \times 3838 = 76,76 \text{ т};$$

$$B(SO_2) = 0,02 \times 3838 = 76,76 \text{ т};$$

$$B(CO_2) = 712,8 \times 3838 = 2\,735\,726,4 \text{ т};$$

$$B(CO) = 3 \times 3838 = 11\,514 \text{ т};$$

$$B(NM VOC) = 0,3 \times 3838 = 1\,154,4 \text{ т};$$

$$B(\text{сажі}) = 5,4 \times 3838 = 20\,725,2 \text{ т};$$

$$B(Pb) = 0,000097 \times 3838 = 0,37 \text{ т};$$

$$B(Cd) = 0,000008 \times 3838 = 0,03 \text{ т};$$

$$B(Hg) = 0,000007 \times 3838 = 0,026 \text{ т};$$

$$B(As) = 0,000044 \times 3838 = 0,17 \text{ т};$$

$$B(Cr) = 0,000042 \times 3838 = 0,16 \text{ т};$$

$$B(Cu) = 0,000099 \times 3838 = 0,38 \text{ т};$$

$$B(Ni) = 0,000067 \times 3838 = 0,26 \text{ т};$$

$$B(Se) = 0,000006 \times 3838 = 0,02 \text{ т};$$

$$B(Zn) = 0,00085 \times 3838 = 3,26 \text{ т};$$

$$B(C_{20}H_{12}) = 0,000005 \times 3838 = 0,02 \text{ т};$$

Для зручності розрахунки було зведено у таблицю у додатку Г.

Розрахуємо, скільки відсотків від сумарної маси викидів займає кожна речовина. Загальна маса усіх викидів становить 2769661,516 т. Відсоток викидів від найбільшого до найменшого значення наведений у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Перерахунок маси викидів у відсотки

Назва забруднюючих речовин	Відсоток викидів забруднюючих речовин
CO <sub>2</sub>	98,7%
Сажа	0,74%
CO	0,41%
NMVOС	0,04%
NO <sub>2</sub>	0,013%
NH <sub>3</sub>	0,0027%
SO <sub>2</sub>	0,0027%
Zn	0,0001%
Cu	0,000013%
Pb	0,000013%
Hg	0,0000093%
Ni	0,0000093%
As	0,0000061%
Cr	0,0000057%
Cd	0,000001%
Se	0,000001%
C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0,000001%

Отже, під час лісових пожеж основну масу викидів у атмосферу складає CO<sub>2</sub>, що становить 2 735726,4 т (98,7%) друге місце займає сажа, її викиди

становлять 20 725,2 т (0,74%), а викиди CO становлять 11 514 т (0,41%), таким чином він займає третє місце.

#### **4.2 Розрахунок суми збитків з урахуванням шкідливості кожної забруднюючої речовини**

Розмір завданих збитків встановлюється кваліфікованою особою, що відповідає за державний нагляд у сфері екології, з використанням документації, що може підтвердити факт викидів забруднюючих речовин у атмосферу, що наведено в розділі 1, 3 пункті даної Методики. Узагальнений обсяг завданих збитків можна розрахувати як суму обсягу шкоди, завданої в результаті викиду в атмосферу суміші забруднюючих речовин, або окремо для кожної забруднюючої речовини. [45].

Щоб розрахувати розмір збитків, завданих в результаті викиду забруднюючих речовин використовується формула 4.3:

$$P_{\text{ш}} = B \times C_{\text{п}} \times K_{\text{неб}} \times K_{\text{в}} \times K_{\text{мп}} \times K_{\text{пп}} \quad (4.3).$$

Розшифрування формули 4.3 наведено в таблиці в додатку Б.

Усі вказані значення показників містяться в методиці розрахунку неорганізованих викидів суміші забруднюючих речовин або кожної речовини окремо в атмосферу повітря в умовах воєнного стану, або під час надзвичайних ситуацій і перенесено в додаток Г, за винятком показника В, який було розраховано раніше і наведено в додатку Г.

$$P_{\text{ш}}(NO_2) = 383,3 \times 2574,43 \times 3 \times 3 \times 5 \times 10 = 444\,050\,558,5 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(NH_3) = 76,76 \times 482,84 \times 2 \times 3 \times 5 \times 10 = 11\,118\,839,5 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(SO_2) = 76,76 \times 2574,43 \times 3 \times 3 \times 5 \times 10 = 88\,925\,961,06 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{CO}_2) = 2735726,4 \times 30 \times 2 \times 3 \times 5 \times 10 = 24\,621\,537\,600 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{CO}) = 11514 \times 96,99 \times 3 \times 3 \times 5 \times 10 = 502\,534\,287 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{NMVOC}) = 1154,4 \times 145,5 \times 2 \times 3 \times 5 \times 10 = 50\,389\,560 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Сажа}) = 20725,2 \times 96,99 \times 3 \times 3 \times 5 \times 10 = 904\,561\,716,6 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Pb}) = 0,37 \times 109127,84 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 30\,282\,975,6 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Cd}) = 0,03 \times 20376,23 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 458\,465,2 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Hg}) = 0,03 \times 109127,84 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 2\,455\,376,4 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{As}) = 0,17 \times 4216,92 \times 4 \times 3 \times 5 \times 10 = 430\,125,8 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Cr}) = 0,16 \times 69113,38 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 8\,293\,605,6 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Cu}) = 0,38 \times 4216,92 \times 4 \times 3 \times 5 \times 10 = 961\,457,8 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Ni}) = 0,26 \times 103816,62 \times 4 \times 3 \times 5 \times 10 = 16\,195\,392,7 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Se}) = 0,02 \times 18413,24 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 276\,198,6 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{Zn}) = 3,26 \times 628,32 \times 3 \times 3 \times 5 \times 10 = 921\,745,4 \text{ грн};$$

$$P_{\text{ш}}(\text{C}_{20}\text{H}_{12}) = 0,02 \times 3277278,63 \times 5 \times 3 \times 5 \times 10 = 49\,159\,179,4 \text{ грн}.$$

Зведені результати розрахунку у національній грошовій одиниці та суму, переведену у долари можна переглянути у додатку Д.

Загальний розмір шкоди у гривнях становить: 26 732 553 045,16.

Розмір шкоди від викиду забруднюючих речовин у національній грошовій одиниці у відсотках від найбільшого до найменшого значення наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Перерахунок розміру шкоди від забруднюючих речовин у відсотки

Назва забруднюючих речовин	Відсоток розміру шкоди від забруднюючих речовин, грн
CO <sub>2</sub>	92,1%
Сажа	3,38%
CO	1,87%
NO <sub>2</sub>	1,66%
SO <sub>2</sub>	0,33%
NMVOС	0,19%
C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0,18%
Pb	0,11%
Ni	0,06%
NH <sub>3</sub>	0,04%
Cr	0,03%
Hg	0,009%
Cu	0,0035%
Zn	0,003%
Cd	0,0017%
As	0,0016%
Se	0,001%

Отже, найбільшого негативного впливу завдають такі забруднюючі речовини: CO<sub>2</sub>, сажа та CO [46].

## ВИСНОВКИ

Дослідження проблеми низових пожеж в екосистемах та розробка екологічної безпеки виявили суттєвий вплив цього явища на природні ресурси та здоров'я екосистем. Аналіз сучасного стану та методів боротьби з пожежами надав підстави для вдосконалення існуючих стратегій.

Екологічні аспекти низових пожеж, включаючи їхній вплив на біорізноманіття та атмосферний стан, підкреслили необхідність системного підходу до протидії цьому явищу. Аналіз причин виникнення пожеж та рекомендації щодо зниження ризику стали важливою основою для подальших заходів з попередження

Методи передбачення та прогнозування низових пожеж, зокрема моделювання, використання ГІС та оптичних датчиків, дозволяють удосконалити систему вчасного реагування на загрозу та вчасно вживати необхідні заходи.

Розрахунок розміру еколого-економічних збитків від викидів забруднюючих речовин, що виникають під час згорання лісів, вказав на необхідність урахування таких аспектів при розробці стратегій управління лісовими пожежами.

Введення супутникової системи раннього виявлення лісових пожеж в Україні є важливим кроком у покращенні ефективності системи моніторингу та оперативного реагування на небезпеку. Поступове підключення регіонів до цієї системи сприятиме швидкій та координованій реакції на низові пожежі, зменшуючи екологічні та економічні збитки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ворон В.П. Тенденції виникнення пожеж у лісах / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник// Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С. 207–265.
2. Буц Ю.В. Динаміка ландшафтних пожеж в Україні та екологоекономічні наслідки їх виникнення // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2013. Т. 18, вип. 2(18) – С. 345.
3. Ворон В.П. Тенденції виникнення пожеж у лісах / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник// Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С.
4. Гербут Ф. Ф. Лісова пірологія. Ужгород: УНУ ГФ, 2012. 103 с.
5. Загороджувальні смуги як спосіб локалізації пожеж у природних екосистемах / Р. В. Ліхнівський та ін. Цивільний захист та пожежна безпека: наук. вісн. 2016. № 2. С. 55 – 59.
6. Положення про лісові пожежні станції, затв. Наказом ДК Лісового господарства України від 28.12.2005 р. №526.
7. Зібцев С.В. Методика аналізу пірологічного стану лісів та охорони лісів від пожеж в зонах радіаційного забруднення / С.В. Зібцев // Зб. наук. Праць Уманського державного аграрного університету. – 2004. – № 64, Ч.1. – С. 129–181.
8. Стародуб Ю.П. Стан лісів (зnelіснення, відновлення лісів). Пожежонебезпека / Ю.П. Стародуб. – 2014.
9. Зібцев С.В. Охорона лісів від пожеж у світі та в Україні – виклики ХХІ сторіччя та перспективи розвитку / С.В. Зібцев, О.А. Борсук. // Лісове і садово-паркове господарство. – 2012. – № 1.
10. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж. Розроблено Українським науково-дослідним інститутом пожежної безпеки МНС України. 2007
11. Ворон В.П., Леценко В.О., Мельник Є.Є. Залежність виникнення пожеж від типів лісу і деревостанів та їх розвиток після пожеж. Науковий вісник НЛТУ України. 2010. Вип. 20.8. С. 62–96.

12. Смотрич О.О. Аналіз сучасних тактичних способів ліквідації лісових пожеж та їх технічне забезпечення. Пожежна безпека. 2019. Вип.17. С. 126-131.

13. Грицюк Ю.І. Структурні компоненти задачі оптимального управління процесом боротьби з лісовими пожежами / Ю.І. Грицюк, І.О. Малець, Т.Є. Рак // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 8. – С. 152–179.

14. Лісовий кодекс України // Відомості Верховної Ради України. – 1994. № 17. – Ст. 99. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2014. – Вип. 197. – Ч. 1.

15. Мельник П.В. Система органів управління в галузі охорони лісів // – Івано-Франківськ, 2014. – Вип. № 8. – С. 118–182.

16. Грицюк Ю.І. Структурні компоненти задачі оптимального управління процесом боротьби з лісовими пожежами / Ю.І. Грицюк, І.О. Малець, Т.Є. Рак // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 8. – С. 152–179.

17. Кузик А.Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів / А.Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – С. 212–238

18. БАГАТОРІЧНА ДИНАМІКА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ - С. В. Зібцев, О. М. Сошенський, В. А. Корень

19. Хотунцев, Ю. Л. Екологія та екологічна безпека: учн. посібник / Ю. Л. Холунцев. - М.: Академія, 2004. - 480 с.

20. Кузик А. Д. Екологічні аспекти лісових пожеж. Проблеми екологічної безпеки та якість середовища : зб. тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, Львів, 17–18 грудня 2010 р. Львів : ЛДУ БЖД, 2010. С. 7–9.

21. Рибалова О.В., Коробкіна К.М. Вплив лісових пожеж на стан водних екосистем. 5-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»: збірник матеріалів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – С.199



22. Балабух В.О., Зібцев С.В. Вплив зміни клімату на кількість та площу лісових пожеж України. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 18. С. 54–77.
23. Кузик А.Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів / А.Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – С. 212–238.
24. Кучерявий В. П. Загальна екологія : підручник [для студ. ВНЗ] / В. П. Кучерявий. – Львів : Світ, 2010. – 520 с.
25. Кузик А. Д., Карабин О. О. Особливості виникнення та поширювання лісової пожежі. Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині: наук. вісник. Львів: Вид-во УкрДЛТУ. 2004. Вип. 14.8. С. 438–442.
26. Зібцев С.В. Стан охорони лісів від пожеж в Україні та головні напрямки його покращення// Наук. вісник НАУ: Зб. наук. праць, 2000, вип. 25. – С. 678
27. Ведмідь М.М. Визначення потенційної продуктивності лісових земель / М.М. Ведмідь, В.Л. Гаврилов // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2005. – Вип. 108 с.
28. Іванець Г.В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданих збитків внаслідок них. Системи обробки інформації. 2016. Вип. 8. С. 133–195.
29. Іпатов, Ю.А. Проектування розподіленої наземної системи моніторингу за лісовими пожежами/Ю.А. Іпатов, А.В. Кревецький, В.О. Шмакін // Кібернетика та програмування. – 2013. – № 2. – С. 20–28.
30. Кудрін, А.Ю. Сучасні методи виявлення та моніторингу лісових пожеж/ А.Ю. Кудрін, Л.І. Запорожець, Ю.В. Підрізів //Технології громадянської безпеки. – 2006. –С. 66-67.
31. Багатоцільовий авіаційний комплекс моніторингу, попередження та захисту від стихійного лиха на базі безпілотного літального апарату «нарт» / М.Т. Абшаєв, А.М. Абшаєв, М.А. Анаєв, В.В. Соловйов, С.І. Шагін // Вісті Південного федерального університету. Технічні науки. – 2017. – С. 229-238.
32. Шепелева, І.С. Відеомоніторинг – один зі способів виявлення лісових пожеж /І.С. Шепелева // Лісогосподарська інформація. – 2015. – № 4. – С. 46–50.

33. Шишалов, О.І. «Лісовий Дозор» – ефективна система раннього виявлення лісових пожеж/О.І. Шишалов, І.С. Шишалов, О.І. Пипіна // Лісовий бюлетень. - 2010. - № 1. - С. 21-26.
34. Lindsay, Grace. (2020). Convolutional Neural Networks as a Model of the Visual System: Past, Present, and Future.
35. Toreyin B.U., Dedeoglu Y., Gudukbay U., Cetin A.E. Computer vision based method for real-time fire and flame detection // Pattern Recognition Letters. 2006. V. 27, no. 1, P. 49-58.
36. Васюков В.М., Подовінніков О.М., Васюков В.В. Програмне забезпечення диспетчерського пункту відеосистеми виявлення лісових пожеж // Збірник наукових наук праць НДТУ. - 2007. - № 3 (49). – Р. 69–74
37. Родзін, В. І. Основи екологічного моніторингу (інженерні завдання раціонального природокористування): навч. посібник для інженерних вузів/В. І. Родзін, Г. В. Семенцов; за ред. Н. Г. Малишева. - Таганрог: ТРПІ, 1988. - 260 с.
38. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж/ О. М. Гусак // Вісник ЛДУ БЖД. - №15. – 2017. – С. 33-38.
39. Іванець Г.В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданих збитків внаслідок них. Системи обробки інформації. 2016. Вип. 8. С. 133–195.
40. Дигало О. М. Ідентифікація моделей швидкості поширювання фронту лісової пожежі та їх практичні застосування : автореф.дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 Харків, 2003. 22 с.
41. Кузик А. Д. Моделювання пожежної небезпеки лісів. Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України. 2011. Вип. 21.16. С. 104–112.
42. Барабаш О.В., Бандурка О.І. Моделювання лісових пожеж на основі прогностичної моделі Байєса та геоінформаційних технологій. Сучасні інформаційні системи. 2022. Т. 6, № 1. С. 19–28.
43. Калашнік Я.О. Науново – дослідна робота, Суми-2011р.

44. 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 [Електронний ресурс] // Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.– 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#n47>.

45. Обіход Г.О. Економіка пожеж у природних екосистемах. Економіка АПК, 2009. N 14. С. 29-65.

46. Економічна оцінка збитку, що завдається лісам атмосферними забрудненнями : метод. вказівки / Л. А. Белашов, А. С. Вобляя, І. В. Жаркова, І. В. Туркевич. – Ворошиловград, 2010. – 36 с.

## Додаток А

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬНазва роботи: Розробка заходів екологічної безпеки низових пожеж в екосистемахТип роботи: магістерська кваліфікаційна роботаПідрозділ екології, хімії та технологій захисту довкілля

## Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 92,2% Схожість 7,8%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Матусяк М.В.

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи

Автор роботи  Зінченко А. А.Керівник роботи  Петрук Р. В.

## **Додаток Б**

### **ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В  
ЕКОСИСТЕМАХ**

Таблиця Б.1 – Розшифрування формули 4.3

Скорочення у формулі	Найменування показника
Рш	розмір шкоди, грн
В	викид забруднюючої речовини в атмосферне повітря, у тонах
Сп	ставка екологічного податку (згідно з Податковим кодексом України), гривня за 1 тону забруднюючих речовин, викинутої в атмосферу;
Кнеб	умовне значення шкідливості (небезпечності) забруднюючої речовини, визначається згідно з додатком 3 до Методики №175. Зокрема, 2 означає мало небезпечні речовини, 5 – дуже небезпечні.
Кв	коефіцієнт впливу на довкілля в залежності від тривалості події, визначається згідно з додатком 4 до Методики №175. Його значення варіюється від 3 до 6
Кмп	коефіцієнт, що залежить від масштабу подій, визначається згідно з додатком 5 до Методики №175. Від 1,2 до 4.
Кпп	коефіцієнт, що залежить від характеру походження події, визначається згідно з додатком 6 до Методики №175. Від 3 до 10.

Таблиця Б.2 – Дані розрахунків викидів при лісових пожежах

Назва забруднюючих речовин		q <sub>i</sub> – Коефіцієнт при лісових пожеж та інших насаджень, т/Га
NO <sub>2</sub>	Діоксид азоту	0,1
NH <sub>3</sub>	Аміак	0,02
SO <sub>2</sub>	Сірчистий ангідрид	0,02
CO <sub>2</sub>	Діоксид вуглецю	712,8
CO	Оксид вуглецю	3
NMVOС	Неметанова летка органічна сполука (НМЛОС)	0,3
Сажа	Тверді речовини	5,4
Pb	Свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	0,000097
Cd	Кадмію оксид (у перерахунку на кадмій)	0,000008
Hg	Ртуті оксид (у перерахунку на ртуть)	0,000007
As	Миш'як, неорганічні сполуки (у перерахунку на миш'як)	0,000044
Cr	Хром шестивалентний (у перерахунку на триоксид хрому)	0,000042
Cu	Міді оксид (у перерахунку на мідь)	0,000099
Ni	Нікелю оксид (у перерахунку на нікель)	0,000067
Se	Селену діоксид (у перерахунку на селен)	0,000006
Zn	Цинку оксид (у перерахунку на цинк)	0,00085
C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	Бенз(а)пірен	0,000005

Таблиця Б.3 – Дані розрахунків викидів у повітря

Назва забруднюючих речовин		В – викид забруднюючої речовини в атмосферне повітря, т
$NO_2$	Діоксид азоту	383,3
$NH_3$	Аміак	76,76
$SO_2$	Сірчистий ангідрид	76,76
$CO_2$	Діоксид вуглецю	2735726,4
CO	Оксид вуглецю	11514
NMVOС	Неметанова летка органічна сполука (НМЛОС)	1154,4
Сажа	Тверді речовини	20725,2
Pb	Свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	0,37
Cd	Кадмію оксид (у перерахунку на кадмій)	0,03
Hg	Ртуті оксид (у перерахунку на ртуть)	0,026
As	Миш'як, неорганічні сполуки (у перерахунку на миш'як)	0,17
Cr	Хром шестивалентний (у перерахунку на триоксид хрому)	0,16
Cu	Міді оксид (у перерахунку на мідь)	0,38
Ni	Нікелю оксид (у перерахунку на нікель)	0,26
Se	Селену діоксид (у перерахунку на селен)	0,02
Zn	Цинку оксид (у перерахунку на цинк)	3,26
$C_{20}H_{12}$	Бенз(а)пірен	0,02



Таблиця Б.4 – Розрахунки економічних збитків

	СП	Кнеб	Кв	Кмп	Кпп
Назва	Сума еко податку, грн/тон	Коефіцієнт небезпеки забруднюючих речовин	Коефіцієнт впливу на довкілля	Коефіцієнт масштабу події	Коефіцієнт характеру походження події
$NO_2$	2574,43	3	3	5	10
$NH_3$	482,84	2	3	5	10
$SO_2$	2574,43	3	3	5	10
$CO_2$	30	2	3	5	10
CO	96,99	2	3	5	10
NMVOС	145,5	2	3	5	10
Сажа	96,99	3	3	5	10
Pb	109127,84	5	3	5	10
Cd	20376,23	5	3	5	10
Hg	109127,84	5	3	5	10
As	4216,92	4	3	5	10
Cr	69113,38	5	3	5	10
Cu	4216,92	4	3	5	10
Ni	103816,62	4	3	5	10
Se	18413,24	5	3	5	10
Zn	628,32	3	3	5	10
$C_{20}H_{12}$	3277278,63	5	3	5	10

Таблиця Б.5 – Дані розрахунків розмірів заподіяної шкоди

Забруднююча речовина	Розмір шкоди, грн	Розмір шкоди, \$
$NO_2$	444 050 558,5	11 809 855,3
$NH_3$	11 118 839,5	295 713,8
$SO_2$	88 925 961,06	2 365 052,1
$CO_2$	24 621 537 600	654 828 127,6
CO	502 534 287	13 365 273,6
NMVOС	50 389 560	1 340 147,9
Сажа	904 561 716,6	24 057 492,4
Pb	30 282 975,6	805 398,3
Cd	458 465,2	12 193,2
Hg	2 455 376,4	65 302,5
As	430 125,8	11 439,5
Cr	8 293 605,6	220 574,6
Cu	961 457,8	25 570,7
Ni	16 195 392,7	430 728,5
Se	276 198,6	7 345,7
Zn	921 745,4	24 514,5
$C_{20}H_{12}$	49 159 179,4	1 307 425
Рш (заг.)	26 732 553 045,16	710 972 155,46