

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально - науковий інститут екології  
Кафедра екології та менеджменту довкілля

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

### ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОТУЖНИХ ПРОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ У ЛІСОВИХ МАСИВАХ

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ-41  
спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пі автора \_\_\_\_\_ / Леонід ЧОРНОГОР  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ / Ганна ТІТЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ / Андрій АЧАСОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ / Анна КОТ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології  
Кафедра екології та менеджменту довкілля  
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр  
Спеціальність 101 Екологія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ / проф. Андрій АЧАСОВ  
підпис ім'я та прізвище

“\_\_” травня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

\_\_\_\_\_ Леоніду ЧОРНОГОРУ \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Екологічні наслідки потужних пірогенних процесів у лісових масивах

Керівник роботи Ганна ТІТЕНКО \_\_\_\_\_,  
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “03”квітня 2023 року №4301-5/646

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 27 квітня 2023 р. \_\_\_\_\_

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Аналітичний огляд за темою кваліфікаційної роботи, провести аналіз проблеми.
2. Дослідити екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні та в Північній півкулі в 2020 р.
3. Обґрунтувати методи досліджень.

4. Провести первинний аналіз стану лісових пожеж.
5. Провести аналіз екологічних наслідків пожеж, провести обчислення основних ефектів.
6. Сформулювати основні результати кваліфікаційної роботи.
7. Оформлення використаних джерел літератури.

#### 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналітичний огляд проблеми
2	Формулювання нерозв'язаних задач
3	Вибір методів досліджень
4	Проведення обчислень
5	Аналіз екологічних наслідків великомасштабних лісових пожеж в Україні та Північній півкулі в 2020 р.
6	Формулювання висновків
7	Підготовка списку використаних джерел

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ .05.2022 р. \_\_\_\_\_

**Студент**

\_\_\_\_\_   
 підпис

**Леонід ЧОРНОГОР**

ім'я і прізвище

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_   
 підпис

**доц., Ганна ТІТЕНКО**

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПОТУЖНИХ ПІРОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ У  
ЛІСОВИХ МАСИВАХ**

Леонід ЧОРНОГОР

Кваліфікаційна робота «Екологічні наслідки потужних пірогенних процесів у лісових масивах» містить 50 сторінок, 3 розділи, 8 таблиці, 11 рисунків, 55 використаних джерел.

*Мета роботи:* проведення кількісної оцінки маси викидів продуктів горіння, низки хімічних елементів, енергії та потужності теплового та акустичного випромінювань, викликаних великомасштабними лісовими пожежами в Україні та у Північній півкулі в 2020 р.

*Актуальність теми дослідження* обумовлена зростанням масштабів і частоти лісових пожеж внаслідок глобального потепління.

*Завдання.* Провести аналіз проблеми, обґрунтувати методику оцінки екологічних наслідків великомасштабних пожеж, провести обчислення основних ефектів і їхній аналіз.

*Методи.* Аналіз наявної інформації, теоретичні розрахунки, математичне моделювання, системний аналіз комплексу супутніх ефектів.

*Результати.* Встановлено, що масштабні лісові пожежі в Україні та у Північній півкулі навесні-влітку-восени 2020 р. мали катастрофічні екологічні наслідки. Найбільший вплив мали горіння лісів у Росії та США. Постраждали екологічні системи площею близько 15 млн га. Втрачено близько 3,5 Гт деревини. В атмосферу потрапило близько 140 Мт диму, понад 10 Мт сажі. Маса інжектваного чадного газу склала близько 350 Мт. Маса викинутих вуглеводнів склала близько 140 Мт. В атмосферу додатково потрапило близько 7,8 Гт вуглекислоти, сотні мегатонн атомарного азоту, сотні тонн калію та кальцію, а також від одиниць до десятків тонн таких хімічних елементів, як Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr і Se. Енергія акустичного

випромінювання сягала 100 ПДж, що майже в тисячу разів перевищило його енергію в нормальній атмосфері. Енергія інфразвукового випромінювання склала 1–10 ПДж. Густина потоку теплового випромінювання наблизилась до 56–160 кВт/м<sup>2</sup>. Після розподілу продуктів горіння лісів у атмосфері над усією земною кулею їхня концентрація помітно перевищувала концентрацію в нормальних умовах. Насамперед це відноситься до диму, сажі та чадного газу. Економічний збиток від великомасштабних лісових пожеж склав близько 750 млрд доларів США. Під час пожеж загинуло і було травмовано десятки людей. Матеріального і морального збитку зазнало багато тисяч людей.

Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж у Північній півкулі й в Україні у 2020 р. для планети стали рекордними.

ПЛОЩА ПОЖЕЖІ, ЕНЕРГЕТИКА ПОЖЕЖІ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ, ВИКИДИ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ, АКУСТИЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

ABSTRACT

**ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF POWERFUL PYROGENIC  
PROCESSES IN FOREST AREAS**

Leonid CHORNOHOR

The qualification work "Ecological consequences of powerful pyrogenic processes in forests" contains 50 pages, 3 chapters, 8 tables, 11 figures, 55 references.

*The purpose* of the study is to quantify the mass of emissions of combustion products, a number of chemical elements, energy and power of thermal and acoustic radiation caused by large-scale forest fires in Ukraine and the Northern Hemisphere in 2020.

*The relevance of the research topic* is due to the increase in the scale and frequency of forest fires due to global warming.

*Objectives.* To analyze the problem, to substantiate the methodology for assessing the environmental consequences of large-scale fires, to calculate the main effects and analyze them.

*Methods.* Analysis of available information, theoretical calculations, mathematical modeling, systematic analysis of the complex of related effects.

*Results.* It has been established that large-scale forest fires in Ukraine and in the Northern Hemisphere in the spring, summer, and autumn of 2020 had catastrophic environmental consequences. Forest fires in Russia and the United States had the greatest impact. Ecological systems covering an area of about 15 billion hectares were affected. About 3.5 Gt of wood was lost. About 140 Mt of smoke and more than 10 Mt of soot were released into the atmosphere. The mass of injected carbon monoxide amounted to about 350 Mt. The mass of emitted hydrocarbons amounted to about 140 Mt. About 7.8 Gt of carbon dioxide, hundreds of megatons of atomic nitrogen, hundreds of tons of potassium and calcium, as well as units to tens of tons of chemical elements such as Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr

and Se were additionally released into the atmosphere. The energy of the acoustic radiation reached 100 PJ, which is almost a thousand times higher than its energy in a normal atmosphere. The energy of infrasound radiation was 1-10 PJ. The flux density of thermal radiation approached 56-160 kW/m<sup>2</sup>. After the distribution of forest combustion products in the atmosphere over the entire globe, their concentration significantly exceeded the concentration under normal conditions. This primarily applies to smoke, soot and carbon monoxide. The economic damage caused by large-scale forest fires amounted to about USD 750 billion. Dozens of people were killed and injured in the fires. Many thousands of people suffered material and moral damage.

The environmental consequences of large-scale forest fires in the Northern Hemisphere and Ukraine in 2020 were record-breaking for the planet.

AREA OF FIRE, ENERGY OF FIRE, ECOLOGICAL CONSEQUENCES,  
RELEASE OF COMBUSTION PRODUCTS, ACOUSTIC RADIATION,  
THERMAL RADIATION.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	12
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ В 2020 р. ....	15
2.1. Методи досліджень.....	15
2.2. Результати первинного аналізу масштабів лісових пожеж.....	16
2.3. Результати кількісного аналізу екологічних наслідків пожеж.....	20
2.4. Висновки.....	23
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ГОРІННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ У ПІВНІЧНИХ ПІВКУЛІ В 2020 р. ....	25
3.1. Методи досліджень.....	25
3.2. Результати первинного аналізу масштабів лісових пожеж.....	27
3.3. Результати кількісного аналізу екологічних наслідків лісових пожеж.....	34
3.4. Висновки.....	37
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

## ВСТУП

Горіння великих лісових масивів на Земній кулі є одним із головних викликів, що стоїть перед цивілізацією. Як відомо, під час лісових пожеж суттєво страждають усі складові екологічних геосистем, а саме атмосфера, гідросфера, ґрунтовий покрив, флора з фауною та біосфера в цілому. Великомасштабні лісові пожежі призводять до значних екологічних, економічних і соціальних наслідків.

Горіння великих лісових масивів досліджується більше 50 років. Огляд головних робіт представлено в низці робіт авторів [1–3].

Причини загорання лісів і наслідки горіння як теоретично, так і експериментально досліджуються досить давно. Зазвичай основна увага приділяється прогнозуванню та запобіганню лісових пожеж. На цей час розроблено математичні моделі, вивчено механізми виникнення найбільш небезпечних лісових верхових пожеж [4–6]. На сьогодні відсутні, як теоретичні розрахунки, так і математичне моделювання комплексу екологічних наслідків горіння великомасштабних лісових масивів у конкретних регіонах планети.

Відомо, що у 2020 р. також виникали великомасштабні лісові пожежі в Україні, Росії, США, Греції, Іспанії та в інших країнах Північної півкулі. Масштаби пожеж були унікальними. Незважаючи на це, екологічні наслідки цих пожеж залишалися не дослідженими. У такому аспекті представляє інтерес проблема детального вивчення та аналізу екологічних наслідків горіння великих лісових масивів у Північній півкулі у 2020 р.

*Актуальність* дослідження пояснюється наступним. Сьогодні людство живе в епоху глобального потепління. Воно, без сумніву, викликано подальшим швидким зростанням чисельності населення на планеті, все зростаючим техногенним впливом. При цьому збільшуються викиди в атмосферу додаткового тепла, шкідливих речовин, газів і, зокрема,

вуглекислоти. Збільшення маси вуглекислоти веде до прискорення парникового ефекту. В результаті підвищується температура приземної атмосфери, збільшується ймовірність виникнення великомасштабних лісових пожеж та погіршення стану екологічних геосистем. Таким чином, утворюється позитивний зворотний зв'язок в екогеосистемах, який веде до подальшого пришвидшення негативних екологічних наслідків горіння великих лісових масивів на планеті.

Як відомо, навесні, влітку та восени 2020 р. у Північній півкулі, зокрема в Україні, спостерігалися дуже інтенсивні лісові пожежі. В результаті пожеж виникли серйозні екологічні наслідки. Були знищені значні природні ресурси. Відомо, що ліси поглинають вуглекислий газ, збагачують атмосферу киснем. Горіння лісів призвело до викидів вуглекислоти, що сприяло подальшому прискоренню глобального потепління. При пожежах на великих територіях руйнуються екосистеми, зменшується біологічне різноманіття, завдається значної шкоди середовищу існування тварин і рослинності, гинуть корисні ґрунтові мікроорганізми, збільшується інтенсивність ґрунтової ерозії. Після потужних пожеж часто знижується плодючість ґрунту. Пожежі призводять до погіршення якості питної води. Ґрунтові води, струмки та ріки після пожеж менше збагачуються водою. Водойми виявляються забрудненими попелом і сажею, а це, в свою чергу, завдає значної шкоди водній фауні та флорі. Атмосфера суттєво забруднюється продуктами горіння лісових масивів. В атмосферу інжектуються потужне акустичне (в тому числі й шкідливе інфразвукове) випромінювання. Все перераховане звичайно мало місце протягом великомасштабних лісових пожеж у 2020 р. Необхідне комплексне дослідження та кількісна оцінка екологічних наслідків великомасштабних пожеж у 2020 р. Саме це зумовило актуальність кваліфікаційної роботи.

*Метою роботи є проведення кількісної оцінки маси викидів продуктів горіння, низки хімічних елементів, енергії та потужності теплового та акустичного випромінювань, викликаних великомасштабними лісовими*

пожежами в Україні та в Північній півкулі в 2020 р.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні *завдання*.

1. Провести аналіз стану досліджуваної проблеми.
2. Обґрунтувати методику оцінки екологічних наслідків горіння великих лісових масивів.
3. Провести обчислень параметрів викидів диму, основних хімічних елементів, енергетики теплового та акустичного випромінювання.
4. Проаналізувати отримані результати та екологічні наслідки потужних пірогенних процесів у лісових масивах.

*Об'єкт дослідження* – потужні пірогенні процеси у лісових масивах.

*Предмет дослідження* – кількісна оцінка викидів продуктів горіння, хімічних елементів, енергії та потужності теплового та акустичного випромінювань.

Основні результати цього розділу доповідалися на наукових конференціях та опубліковано у роботах [1–3, 40–55].

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Як відомо, проблема масштабних лісових пожеж має велике, економічне, екологічне та соціальне значення. Лісові пожежі суттєво впливають на всі екогеосистеми, тобто на атмосферу, літосферу, ґрунтовий покрив, гідросферу, флору, фауну, та біосферав цілому. При цьому страждає населення всієї планети. Основоположні роботи, присвячені масштабним лісовим пожежам, були виконані у другій половині минулого століття [7–9]. Визначний вклад в дослідження лісових пожеж та їх впливів на довкілля в Україні – Буц Ю. В. [10–12], Кузик А. Д. [13, 14], Ліщина В. О. [15], Некос В. Ю. [16], в світі – Sparr H. S. [7], Komarek E. V. [8], Boer M. M. [4], Khabarov N. [5], Silva S. [6], Dhall A. [17], Randerson J. T. et al. [18] та багато інших.

Багато авторів були фундаторами нового наукового напрямку, який полягає в систематичному вивченні певних аспектів пожеж, які дозволяють оцінювати ризики та прогнозувати майбутні ризики та небезпеки, обумовлені пожежами, які мають своєю метою захист людей і територій. За допомогою розрахунково-аналітичних і експериментальних методів було оцінено вплив екологічних наслідків масштабних лісових пожеж на довкілля.

Працею багатьох дослідників був заснований науковий напрямок, пов'язаний із фізичними аспектами лісових пожеж, а також математичним моделюванням процесів горіння.

Буц Ю. В. у багатьох публікаціях обґрунтував теоретично-методологічні оцінки техногенного ризику пірогенного походження таймовірність ураження пожежами екогеосистем [10–12]. Автор розглянув чинники, проявита наслідки постпірогенної релаксації екогеосистем, описав на конкретних прикладах постпірогенну релаксацію, сформулював рекомендації щодо екологічно безпечного управління процесами постпірогенної релаксації екогеосистем.

Причини виникнення та наслідки лісових пожеж теоретичними та

експериментальними методами вивчаються досить давно [23]. Головна увага приділялася прогнозуванню та запобіганню лісових пожеж, а також математичному моделюванню лісових пожеж [9, 13].

У цій роботі розглянемо екологічні аспекти дослідження великомасштабних лісових пожеж в Україні та у Північній півкулі в 2020 р. Результати досліджень авторів на цю тему опубліковано в [1–3, 40–55].

Актуальність цієї теми полягає у наступному. Як відомо, ми живемо в епоху глобального потепління. Встановлено, що причинами глобального потепління є зростання чисельності населення, подальший техногенний тиск на екогеосистеми, який супроводжується викидами в атмосферу тепла, шкідливих речовин, газів і, зокрема, вуглекислого газу. Збільшення маси останнього призводить до активізації процесу, що отримав назву парникового ефекту.

Глобальне потепління супроводжується як суттєвими змінами клімату на планеті, так і особливостями змін погоди, зокрема в Україні. Збільшення температури всього на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до виникнення у середньому 240 нових осередків пожеж [12]. В останні роки середня температура у весняно – літньо – осінній періоді збільшилася на  $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ . При цьому різко зменшилася кількість опадів. Так, зима 2019–2020 рр. в Україні була практично безсніжною; весна, більша частина літа та перша половина осені в центральній, східній і південній частинах України не спостерігалися інтенсивні дощі. В той же час, від сильних дощів часом страждала західна частина України.

Підвищення температури та зменшення кількості опадів призвело до негативних наслідків. Вже на початку квітня 2020 р. в Україні виникли перші сильні та тривалі пожежі в Київській і Житомирській областях, включаючи і Чорнобильську зону. На початку вересня 2020 р. загорілися лісові масиви в Харківській і Луганській областях. Найбільш інтенсивні пожежі спостерігалися на Луганщині з 30 вересня до 5–7 жовтня 2020 р.

Забігаючи вперед, наголосимо, що великомасштабні лісові пожежі в нашій країні призвели до дуже серйозних екологічних наслідків. До робіт автора

дипломної роботи та його співавторів оцінка кількісних показників екологічних наслідків пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. у наукових публікаціях була відсутня.

Виключно важливо, що у 2020 р. великомасштабні лісові пожежі мали місце не тільки в Україні, а й у всій Північній півкулі. Виникла нагальна необхідність оцінити екологічні наслідки цих пожеж у глобальних масштабах.

Таким чином, вкрай необхідна кількісна оцінка об'ємів викидів продуктів горіння, сукупності хімічних елементів, енергії та потужності як акустичного, так і теплового випромінювань, обумовлених горіння великих лісових масивів в Україні та в Північній півкулі у 2020 р. та аналіз впливу пірогенних процесів на екологічний стан довкілля. Саме цим питанням присвячена кваліфікаційна робота.

## РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ В 2020 р.

### 2.1. Методи досліджень

Вихідні дані для нашого дослідження щодо характеристик пожеж (такі як розташування великомасштабної лісової пожежі, час її існування, уражені площі, тощо) отримано з мережі Internet [19–26].

Для дослідження екологічних наслідків масштабних лісових пожеж в Україні використовувалися такі методи: аналіз наявної інформації, теоретичні розрахунки, математичне моделювання, системний аналіз комплексу супутніх ефектів.

Математичному моделюванню підлягали наступні кількісні показники: теплова енергія та потужність пожеж, викиди маси диму, сажі, чадного газу, вуглекислого газу, азоту, низки хімічних елементів, енергія та потужність інфразвукового випромінювання.

Методика аналізу екологічних наслідків великомасштабних пожеж розроблялася різними авторами. Найбільш повно методика описана у публікаціях [27, 28], яка і була використана автором цієї роботи.

Енергія пожежі обчислювалася за питомою масою горючих речовин і площею пожежі. Використані значення питомої маси наведено в табл. 2.1.

Для спрощення обчислень обрано середню для лісостепової зони нашої країни питому масу горючих матеріалів, що дорівнює 10 кг/м<sup>2</sup>.

Згідно з [27, 28], з урахуванням неповного згоряння за масою горючих матеріалів обчислювалася маса вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), що дорівнює 2,25 масам горючих матеріалів. Маса чадного газу CO становить близько 10% від

маси згорілих матеріалів.

Таблиця 2.1

Питома маса горючих матеріалів

Матеріал	Ліс	Кущі	Трави
Питома маса, кг/м <sup>2</sup>	20–60	2–5	0,5–1,5

Маса сажі (С) сягає 0,3% від маси згорілих матеріалів. Маса диму складає 4% від маси згорілих матеріалів [27]. Маса вуглеводнів досягає 40% від маси згорілих матеріалів. Енергія акустичного випромінювання становить 0,3% від теплової енергії пожежі. Подібне співвідношення має місце також для потужностей теплових і акустичних процесів [27, 28].

## 2.2. Результати первинного аналізу масштабів лісових пожеж

Спочатку опишемо стан великомасштабних лісових пожеж, необхідний для подальшого математичного моделювання їх екологічних наслідків.

**Лісові пожежі у Київській і Житомирській областях у квітні – травні 2020 р.** Пожежі продовжувались з 4 квітня по 3 травня 2020 р. (рис. 2.1). Площа лісу, пройдена пожежею, складала приблизно 2700 га. Інтенсивна пожежа виникла 4 квітня 2020 р. в зоні Чорнобильської АЕС. Спостерігався сильний вітер, тому пожежа стала верховою. Швидкість поширення верхових пожеж досягає 8–16 м/с. Пожежу в зоні відчуження гасили впродовж 15 діб. Проте 16 квітня виникли нові осередки. У гасінні пожеж прийняли участь 1202 людини, було залучено 289 одиниць різної техніки, в тому числі два літаки АН-32П та чотири вертольоти [19]. Постраждало під час пожежі близько 5% території Чорнобильського заповідника.

Також масштабними були пожежі й на Житомирщині. Виявлено дев'ять осередків. Вогнем було знищено 39 будівель. У гасінні пожежі брали участь

960 фахівців, 156 одиниць різної техніки та 3 літаки АН-32П [20].

Через пожежі рівень забруднення повітря продуктами горіння у столиці України та її околицях на певний час став найвищим у світі [21].

**Лісові пожежі у Харківській області.** Пожежі розпочалися 2 вересня 2020 р. Спочатку зайнявся хвойний ліс на площі 80 га (рис. 2.2). Загальна площа, охоплена пожежами, становила близько 500 га, з них на 100 га спостерігалася верхова пожежа. В результаті пожеж було знищено 22 житлових будинки та евакуйовано 33 людини. Повністю згоріло село Вороб'ївка Дворічанського району. У гасінні масштабної пожежі брало участь 215 фахівців, 49 одиниць різної техніки, в тому числі два пожежних літаки та вертоліт. Висота полум'я при цьому сягала 40–50 м. Швидкість вітру наближалась до 15 м/с [22].

Вогонь знищив ділянку повітряних ліній (ЛЕП, лінії радіомовлення та телеграфу) протяжністю 1 км і 20 опор. Без світла залишилися 70 споживачів.

2 вересня 2020 р. інтенсивна пожежа була зареєстрована також у Чугуївському районі, де вигорів ліс площею 30 га. У гасінні великомасштабної пожежі брало участь 211 осіб, 19 одиниць техніки.

Тільки за одну добу (23 вересня 2020 р.) у Харківській області було



а)



б)

Рис. 2.1 – Пожежі у: а) – Житомирській області та б) – Київській області у 2020 р. [<https://u.to/rvk0Gw>]



Рис. 2.2 – Пожежі у Харківській області у 2020 р. [<https://u.to/OPw0Gw>]

було виявлено 40 пожеж. Загалом вигоріло понад 22 га лісів [23, 24].

**Лісові пожежі в Луганській області.** Пожежі на Луганщині розпочалися одночасно зпожежами на Харківщині. В перші дні пожеж загинула 1 людина, а ще 2 людини потрапили в лікарню зі значними опіками. Горів хвойний ліс площею 80 га (рис. 2.3). Однак справжня катастрофа розпочалася на Луганщині 30 вересня 2020 р. Пожежа у Луганській області тривала всю першу декаду жовтня. На 7 жовтня вдалося повністю загасити 9 осередків з 10 [25]. Тільки за перші три доби інтенсивний вогонь знищив близько 20 тис. га лісу.

Причиною пожежі послужив ураганний вітер, швидкість якого в поривах сягала 25 м/с. Він повалив дерева на лінії електропередач. Від інтенсивного іскріння загорілася трава, кущі. Від них під дією дуже сильного вітру виникла верхова пожежа в лісі. Від пожеж постраждало 32 населених пункти, згоріло близько 300 житлових будинків, загинули 11 осіб, з опіками до лікарні потрапило 19 осіб, у тому числі три рятувальники. Було евакуйовано 150 осіб. У гасінні великомасштабних пожеж брало участь 1154 людини, 294 одиниці різної техніки, три пожежних літаки, вертоліт і пожежний поїзд. Під час гасіння було скинуто більше 1906 т води [26].





Рис. 2.3 – Пожежі в Луганській області у 2020 р. [<https://u.to/a-w0Gw>]

### 2.3. Результати кількісного аналізу екологічних наслідків пожеж

Наведемо результати оцінки екологічних наслідків великомасштабних пожеж окремо для кожної події. Результати розрахунків маси згорілих матеріалів, викидів продуктів горіння, енергії та потужності горіння, а також енергії та потужності акустичного випромінювання наведено в табл. 2.2.

Аналіз даних табл. 2.2 показав, що екологічні наслідки великомасштабних пожеж в Україні в 2020 р. були дуже значними. Великомасштабні пожежі охопили територію в 23200 га, зайняту лісом. А це складає 0,2% площі всіх лісів нашої країни. При цьому було знищено сотні тисяч тонн деревини.

Як відомо, що природне відновлення лісів відбувається по-різному та з різною швидкістю. Якщо пожежею були пошкоджені (чи знищені) лише надземні частини кущів, то приблизно за 2–3 роки відновиться чагарниковий ярус.

Встановлено, що після пожеж самовідновлюються раніше за всі інші породи дерев береза та осика. Лісовідновлення переважно є наслідком самосіву насіння, перенесеного з уцілілих на згарищах дерев. Якщо мало місце

неповне згоряння підстилки, то частина насіння сосни зберігає схожість і утворює самосів. Трава відновлюється через 1–2 роки. В цілому, природне відновлення лісів може стати помітним лише через 2–3 роки [11].

Таблиця 2.2

Параметри екологічних наслідків великомасштабних пожеж  
у деяких регіонах України

Параметр	Київщина, Житомир- щина	Харків- щина	Луган- щина	Фонове значення над Україною	Відносне збільшення,%
Площа, га	2700	500	20000	–	–
Маса згорілих матеріалів, Мт	0,27	0,05	2	–	–
Маса диму, кт	108	20	800	6	1550
Маса CO <sub>2</sub> , Мт	0,61	0,11	4,5	2760	0,19
Маса СО, кт	27	5	200	600	39
Маса С, кт	0,8	0,15	6	0,6	1160
Вуглеводні, кт	10,8	2	80	6000	1,6
Енерговиділення, ПДж	2,7	0,5	20	–	–
Середня тривалість, діб	30	5	5	–	–
Середня потужність, ГВт	1	1,16	46,3	–	–
Акустична енергія, ТДж	8,1	1,5	60	35	200
Акустична потужність, МВт	3	3,5	139	400	36,4

Внаслідок масштабних пожеж на значних площах нашої країни сильно постраждали екосистеми самого різного ієрархічного рівня. Так, до атмосфери потрапили десятки–сотні кілотонн диму, що в тисячі разів перевищило його вміст над цими ж площами до пожеж.

Під дією вітру дим та інші продукти горіння зі швидкістю приблизно 1000 км за добу поширилися на дуже значній території. У результаті цього вміст диму у повітрі перевищив фоновезначення над усією територією нашої країни в 15,5 разів. Концентрація вуглецю (тобто сажі) перевищила фонове

значення над усією територією країни більше ніж в 10 разів. Важливо, що частинки сажі з атмосфери вимивається дощами.

Маса чадного газу перевищила фонове значення над усією територією нашої країни більше ніж на 39%, а маса вуглекислого газу – на 0,19%. Маса вуглеводнів при цьому перевищила фонове значення над усією територією України на 1,6%. Також істотними були викиди й інших хімічних елементів, наведених у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Маса хімічних елементів, емітованих при лісових пожежах в Україні в 2020 р.

Хімічний елемент	N	K	Ca	Fe	Zn	Cr	Br	Mn	Pb	Rb, Sr, Se
Масові характеристики										
$\mu$ , кг/км <sup>2</sup> *	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>	2–12	4–8	0,6–3,7	0,07–0,87	0,14–0,65	0,07–0,23	0,01–0,29	0,04–0,08	0,02–0,05
$m_1$ , кг	2,7×10 <sup>6</sup> –2,7×10 <sup>7</sup>	54–324	108–216	16,2–99,9	1,9–23,5	3,8–17,6	1,9–6,2	0,27–7,8	1,1–2,2	0,5–1,4
$m_2$ , кг	5×10 <sup>5</sup> –5×10 <sup>6</sup>	10–60	40–80	3–18,5	0,4–4,4	0,4–3,3	0,4–1,2	0,05–1,5	0,2–0,4	0,1–0,25
$m_3$ , кг	2×10 <sup>7</sup> –2×10 <sup>8</sup>	400–2400	800–1600	120–740	14–174	28–130	14–46	2–58	8–16	4–10
$m$ , кг	2,3×10 <sup>7</sup> –2,3×10 <sup>8</sup>	464–784	948–1896	139–859	16,3–202	32,2–151	16,3–53,4	2,3–67,3	9,3–19,2	4,6–11,7

\* ( $\mu$  – питома маса,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  і  $m$  – маси для Київщини та Житомирщини, Харківщини, Луганщини та їхня сума)

При побудові табл. 2.3 використовувався діапазон значень питомої маси, тобто маси, віднесеної до одного квадратного кілометра, хімічних елементів  $\mu$ , яка в свою чергу залежить від типу лісу, виду дерев, підстилаючої поверхні і т.п. Діапазон змін перерахованих параметрів встановлено на підставі узагальнення опублікованих даних для різних лісових пожеж [11].

Результати, що наведені у табл. 2.3, показують, що маса азоту досягала десятків – сотень кілотонн. Викиди таких елементів, як К, Са, Fe, Zn та Cr, обчислювалися десятками – сотнями кілограм. Помітно меншими при цьому були викиди Br, Mn, Pb, Rb, Sr та Se.

Обчислення показали, що дуже значним був акустичний ефект, який дуже негативно впливав на жителів навколишніх населених пунктів. Енергія акустичних коливань удвічі перевищувала фонове значення над усією територією нашої країни, а поблизу пожеж це перевищення сягало 2000 разів. Дуже важливо, що 1–10% від енергії акустичних коливань припадає на енергію інфразвуку, тобто частоти коливань менше 20 Гц. Добре відомо, інфразвук не сприймається безпосередньо вухами людини, але при цьому діє на всі її органи, викликаючи страх, паніку та навіть психічні розлади.

## 2.4. Висновки

1. Лісові пожежі в Україні, що мали місце навесні – влітку – восени 2020 р. призвели до дуже значних екологічних наслідків. При цьому постраждали екосистеми на площі понад 23200 га. Було втрачено близько 2 Мт деревини.

2. В атмосферу надійшло до 1 Мт диму, що в 15,5 разів перевищило його фоновий вміст в атмосфері над усією територією України. В процесі пожеж до атмосфери потрапило приблизно 7 кт сажі, що більш ніж у 10 разів перевищило її середній фоновий вміст в атмосфері над усією нашою країною. Значними були викиди чадного газу (понад 230 кт), вуглеводнів (до 0,1 Мт), вуглекислого газу (до 5,2 Мт). Істотними були також викиди низки хімічних елементів (від одиниць кілотонн до декількох кілограм).

3. До атмосфери потрапило понад 20 ПДж теплової енергії (це еквівалентно енергії вибуху 5-мегатонної бомби). Середня потужність горіння

перевищувала 46 ГВт, що дорівнює потужності всіх видів енергії, яку споживає Україна ( вона становить близько 150 ГВт).

4. До атмосфери також надійшло близько 70 ТДж енергії акустичного випромінювання, що вдвічі перевищило її фоновий вміст в атмосфері над усією територією нашої країни. Значна частина цієї енергії припадала на шкідливий для людини та й біосфери в цілому інфразвуковий діапазон.

5. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж 2020 р. для нашої країни стали рекордними.

### РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ГОРІННЯ ЛІСОВИХ МАСИВІВ У ПІВНІЧНИХ ПІВКУЛІ В 2020 Р.

#### 3.1. Методи досліджень

Для дослідження екологічних наслідків горіння великих лісових масивів у Північній півкулі використовувалися наступні методи: аналіз огляд проблеми досліджень, системний аналіз, математичне моделювання та теоретичні обчислення комплексу фізичних і екологічних ефектів. Моделюванню підлягали кількісні показники енергії та потужності пожеж (теплова енергія та потужність), процесів викидів маси диму, сажі, чадного газу, вуглекислоти, азоту, важких хімічних елементів, енергія та потужність інфразвукового випромінювання.

Найбільш повно методика викладена в роботах [27, 28]. У даній роботі використано методику [27, 28].

При оцінці екологічних наслідків великомасштабних пожеж вихідними параметрами є дата, час, місце, площа пожежі  $S$ , тривалість пожежі  $\Delta t$ , питома маса горючих матеріалів  $\tilde{m}$ , питомий енерговміст. Вторинними параметрами є маса горючих матеріалів, енергія горіння, потужність теплового

Таблиця 3.1

Питома маса хімічних елементів, емітованих при лісових пожежах

Хім. елемент	Питома маса хімічних елементів											
	N	K	Ca	Fe	Zn	Cr	Br	Mn	Pb	Rb	Sr	Se
$\tilde{m}$ , кг/м <sup>2</sup>	0,1–1	(0,2–1,2)·10 <sup>-5</sup>	(0,4–0,8)·10 <sup>-5</sup>	(0,6–3,7)·10 <sup>-6</sup>	(0,7–8,7)·10 <sup>-7</sup>	(1,4–6,5)·10 <sup>-7</sup>	(0,7–2,3)·10 <sup>-7</sup>	(0,1–2,9)·10 <sup>-7</sup>	(0,4–0,8)·10 <sup>-7</sup>	(0,2–0,5)·10 <sup>-7</sup>	(0,1–0,5)·10 <sup>-7</sup>	(0,1–0,3)·10 <sup>-7</sup>

випромінювання та потужність акустичного випромінювання. До третинних параметрів віднесемо маса диму, маса шкідливих речовин і маса хімічних елементів.

Аналіз даних таблиці 3.1 показує, що найбільша питома маса властива викидам атомарного азоту, меншу – калій і кальцій та ще меншу інші хімічні елементи.

Відомо, що у природних умовах питома маса диму складає  $\tilde{m}_s \approx 10^{-5}$  кг/м<sup>2</sup>,  $\tilde{m}_{CO_2} \approx 4,6$  кг/м<sup>2</sup>,  $\tilde{m}_{CO} \approx 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup>,  $\tilde{m}_C \approx 10^{-6}$  кг/м<sup>2</sup>, питома маса вуглеводнів –  $\tilde{m}_h \approx 10^{-2}$  кг/м<sup>2</sup>.

Питома маса лісових горючих матеріалів змінюється в широких межах. Для трави  $\tilde{m} \approx 0,1-1$  кг/м<sup>2</sup>, для чагарника  $\tilde{m} \approx 1-5$  кг/м<sup>2</sup>.

Відомо, що найменше значення питомої маси мають лісові масиви в лісостепових зонах (близько 10 кг/м<sup>2</sup>), а в субтропіках і тропіках –  $\tilde{m} \approx 60$  кг/м<sup>2</sup>.

Використовувані в даній роботі значення  $\tilde{m}$  наведені в табл. 3.2. Можна бачити, що найбільша питома маса відноситься до лісів США й Іспанії, а найменша – до лісів України.

Таблиця 3.2

Параметри лісових пожеж

Параметр	Країна			
	США	Росія	Іспанія	Україна
Питома маса, кг/м <sup>2</sup>	40	20	30	10
Характерний час вигорання, год	2,8	1,4	2,1	0,7

Добре відомо, що великомасштабні пожежі супроводжуються інтенсивними потоками як теплового  $\Pi_t$ , так і акустичного  $\Pi_a$  випромінювань.

Густина потоку  $\Pi_t$  можна розрахувати за співвідношенням з [27]:

$$\Pi_t \approx \sigma(T^4 - T_0^4),$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(К<sup>4</sup>·м<sup>2</sup>) – стала Стефана – Больцмана,  $T$  – абсолютна температура полум'я,  $T_0$  – абсолютна температура повітря. Далі будемо вважати, що  $T_0 \approx 300$  К.

За даними роботи [28], в енергія акустичного випромінювання  $E_a$  складає близько 0,3% теплової енергії  $E$ , що виділяється під час горіння.

Тоді потужність акустичного випромінювання  $P_a \approx 0,003P$ , де  $P$  – тепла потужність, що виділяється під час пожежі.

При цьому  $\Pi_a = P_a/S$ . У нормальних умовах маємо  $\Pi_a \approx 1$  мВт/м<sup>2</sup>.

Ці базові відомості були використані у кваліфікаційній роботі для обчислень.

### 3.2. Результати первинного аналізу масштабів лісових пожеж

**Лісові пожежі в Росії.** Великомасштабні лісові пожежі розпочалися в січні 2020 р. За даними Грінпіс на 15 травня 2020 р. в Росії вигоріло 13,5 млн га, в той же час за російськими даними – всього 4,7 млн га, з них тільки 1,9 млн га – ліси [29, 30].

На 28 червня цього ж року Грінпіс повідомив, що в Росії пожежі пройшли уже 21 млн га. Офіційні органи Російської Федерації доповіли, що вогонь охопив територію всього в 12 млн га, з них 55% – ліси. Інтенсивні пожежі в Росії тривали аж до жовтня 2020 р. (рис. 3.1.)

Найбільше від пожеж постраждали Красноярський, Забайкальський, Хабаровський і Приморський краї, Бурятія, а також Смоленська, Брянська, Кемеровська, Іркутська і Єврейська автономна області. Важливо, щодоби площа загорання збільшувалася на 5 тис. га. Виявилося, що найсильніше постраждали ліси в Якутії, де їхня частка перевищувала 80% [30].

Найбільш сильні та тривалі лісові пожежі були зареєстровані в травні. Їхня тривалість була не менше 30 діб. В липні тривалість пожеж складала близько



Рис. 3.1 – Масштабна лісова пожежа в Росії влітку 2020 р.

[<https://opozhare.ru/posledstviya/statistika-lesnyh-pozharov>]

20 діб. Протягом двох місяців згоріло близько 12 млн га лісу. Завдана при цьому шкода склала близько 600 млрд доларів США.

**Лісові пожежі в США.** Інтенсивні пожежі в США в 2020р спостерігалися в 12 штатах. Найбільш потужні з них реєструвалися в штатах Каліфорнія, Орегон і Вашингтон [31, 32].

*Штат Каліфорнія.* Пожежі в штаті Каліфорнія розпочалися 2 серпня 2020 р., проте вони були слабкими. У середині серпня 2020 р. температура повітря часом досягала 50°C. Жаркий і сухий клімат посприяв виникненню сухих блискавок. 16 серпня 2020 р. було зареєстровано до 200 блискавок за 30 хв. Всього ж за добу нараховано близько 2500 блискавок. Сухі блискавки спровокували 585 пожеж у лісових масивах. Вони переросли у мегапожежі (рис. 3.2). Пожежі продовжувались з 18 серпня по 18 вересня 2020 р. Загальна площа пожеж досягла 2,7 млн га.

На початку вересня в результаті пожеж над Каліфорнією з'явилися пірокумуляси, тобто пірокупчасто-дощові хмари. Ці хмари швидко піднімалися до висоти 15 км. Відомо, що подібні хмари виникають при виверженні потужних вулканів. Пірокумуляси формують власні метеосистеми, впливають на погоду далеко за межами великомасштабної



Рис. 3.2 –Інтенсивна лісова пожежа в штаті Каліфорнія (США) в 2020 р.

[<https://iz.ru/1050026/video/v-kalifornii-obiavili-rezhim-chs-iz-za-pozharov>]

пожежі. Частота виникнення блискавок при наявності таких хмар збільшується, провокуючи все нові осередки пожеж.

Мегапожежі, зазвичай, супроводжувалися виникненням унікальних явищ - вогняних торнадо або вогнених смерчів (рис. 3.3). У цих випадках висота полум'я може збільшуватися від 50–60 м до 10000 м. При цьому нагріті



Рис. 3.3 –Вогняний смерч під час інтенсивної лісової пожежі в штаті Каліфорнія (США) в 2020 р.

[<https://newizv.ru/news/incident/17-08-2020/v-ssha-ob-yavili-evakuatsiyu-v-ozhidanii-ognennogo-tornado>]

продукти горіння закидаються навіть у стратосферу. У стратосфері закинуті аерозолі (сажа) можуть перебувати місяцями і навіть роками. Саме сажа, поглинаючи сонячне випромінювання, суттєво змінює тепловий режим тропосферного та стратосферного шарів. За вимірами супутників температура приземної атмосфери над пожежами становила 191°C при нормі 25С.

Через викиди величезних мас диму в денний час спостерігалися сутінки. При цьому майже не було видно Сонця. Денне небо набуло темно помаранчевого кольору. Настав так званий «червоний день») (рис. 3.4). Дим поширився у східному напрямку. До середини вересня він дійшов до Європи.



Рис. 3.4 Червоний день – також унікальне явище - результат інтенсивної лісової пожежі в штаті Каліфорнія (США) в 2020 р.

[<https://newdaynews.ru/inworld/702344.html>]

У результаті великомасштабних пожеж загинуло 29 чоловік, практично знищено м. Парадайс, згоріло понад 4000 будинків, 120 тис. осіб було евакуйовано. У штаті Каліфорнії без електроенергії залишилося 172 тис. чоловік. У гасінні пожежі брало участь до 14 тис. фахівців. Економічний збиток при цьому склав 130–150 млрд доларів США.

*Штат Орегон.* Пожежею було охоплено близько 0,4 млн га. Евакуйовано 500 тис. чоловік із загального числа жителів штату 4200 тис. чоловік, тобто близько 12%. Пожежа тривала не менше 7 діб. При цьому

загинуло понад 20 осіб, а десятки людей пропали безвісти. Знищено 5 невеликих міст і сотні будинків [32].

*Штат Вашингтон.* Зареєстровано 14 інтенсивних пожеж площею понад 0,2 млн га. Вогняна стихія тривала більше 10 діб. При цьому мали місце людські жертви, а більше 10 осіб зникли безвісти [33].

*Штат Аляска.* Спостерігалось більше 107. Число великих пожеж сягнуло до 107. Їхня площа склала 0,7 млн га [34]. Для порівняння вкажемо, що площа інтенсивних лісових пожеж у Канаді в серпні 2020 р. наблизилася до 2 тис. га. Було евакуйовано 3,8 тис. осіб з 4 тис. місцевих жителів [35]. Загальна площа лісів, що згоріли в США в 2020 р., досягла 2,7 млн га.

Такі були наслідки великомасштабних лісових пожеж у Західній півкулі. Далі наведемо стан наслідків пожеж у Європі.

**Лісові пожежі в Іспанії.** Пожежі в провінції Андалусія розпочалися 27 серпня 2020 р. та продовжувалися не менше 20 діб (рис. 3.5). Площа пожеж сягала близька до 10 тис. га. При цьому було евакуйовано 3100 осіб. У гасінні пожеж брало участь 500 осіб, 16 вертольотів, 8 літаків і армійський персонал [36]. Нанесений збиток сягав 500 млн доларів США.



Рис. 3.5 – Масштабна лісова пожежа в Іспанії влітку 2020 р.

[\[https://earthcentre.earth/climatechange.php\]](https://earthcentre.earth/climatechange.php)

**Лісові пожежі у Греції.** Пожежі на території Греції 19–20 липня 2020 р. розпочалася з 47 осередків. Пожежі змінної інтенсивності продовжувалися до 5 вересня 2020 р. (рис. 3.6). При цьому загинуло 87 осіб. У гасінні пожеж брало участь 391 пожежний, 154 одиниці різної техніки, 12 літаків, 4 вертольоти [37]. Інтенсивні лісові пожежі біля міста Афіни реєструвалися у серпні та вересні 2020 р. При цьому щодоби відмічалось від 40 до 60 осередків великих лісових пожеж. Загальна площа склала близько 1 тис. га. У гасінні пожеж брали участь 180 пожежників, 56 одиниць різної техніки, в тому числі 6 літаків і 8 вертольотів [37]. Суттєво менша пожежа, площа якої не перевищувала 80 га, спостерігалася на території республіки Афон 13 червня 2020 р. Збиток, нанесений вогнем, наблизився до 50 млн доларів США.



Рис. 3.6 – Інтенсивна лісова пожежа в Греції 2020 р.

[\[https://www.eurointegration.com.ua/rus/news/2021/05/20/7123382/\]](https://www.eurointegration.com.ua/rus/news/2021/05/20/7123382/)

**Лісові пожежі у Франції.** Перша пожежа виникнула 5 серпня 2020 р. на півдні країни (рис. 3.7). При цьому згоріло понад 1500 га лісу. Було евакуйовано 4 тис. осіб. Пожежі гасило 2 тис. рятувальників. Постраждали 15 пожежних [38]. Нанесений вогнем збиток сягнув 75 млн доларів США.



Рис. 3.7 – Масштабна лісова пожежа на півдні Франції влітку 2020 р.

[\[https://www.bbc.com/russian/news-40725728\]](https://www.bbc.com/russian/news-40725728)

**Лісові пожежі в Україні.** Великомасштабні пожежі на Київщині Житомирщині спостерігалися в квітні та травні 2020 р. Приблизно за місяць вогонь пройшов територію в 2,3 тис. га.

Вогняна стихія Харківщині мала місце з 2 по 7 вересня 2020 р. Вогняна стихія пошкодила близько 500 га лісу.

Перші пожежі на Луганщині розпочалися 2 вересня 2020 р. Найсильніші пожежі спостерігалися в Луганській області з 20 вересня по 4 жовтня 2020 р. (рис. 3.8). Від пожеж суттєво постраждало 32 населених пункти. При цьому згоріло 300 будівель, загинуло 11 осіб, зі значними опіками до лікарень звернулося 19 осіб. Із-за пожеж відселили 150 осіб. Пожежі гасили 1154 фахівця, 294 одиниці різної техніки, 3 пожежних літаки, вертоліт і пожежний потяг [39].

Нанесена пожежами в Україні шкода склала до 1 млрд доларів США.

Інтенсивні лісові пожежі в нашій країні навесні, влітку та восени 2020 р. більш детально описані в розділі 2 та в роботі [6].



Рис. 3.8 – Масштабна лісова пожежа на Луганщині влітку 2020 р.  
[<https://donpress.com/news/07-07-2020-vtorye-sutki-polyhaet-masshtabnyy-lesnoy-pozhar-v-luganskoy-oblasti>]

### 3.3. Результати кількісного аналізу екологічних наслідків лісових пожеж

Результати оцінки основних параметрів, що характеризують екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж, наведені в табл. 3.3.

З табл. 3.3 видно, що маса згорілих лісових матеріалів наблизилася до 3,5 Гт, маса викинутого в атмосферу диму сягнула 140 Мт, що приблизно в 100 тис. разів перевищило вміст диму над указаними територіями в нормальних умовах.

Маса інжектваної вуглекислоти була близько 7,8 Гт, що більше, ніж у 10 разів перевищило її вміст у нормальних умовах.

Таблиця 3.3

Параметри екологічних наслідків горіння лісових масивів у Північній півкулі в 2020 р.

Параметр	Росія	США	Іспанія	Україна	Фонові значення над даною територією	Відносне збільшення
Площа пожеж, га	12 млн	2.7 млн	10 тис.	23 тис.	–	–
Маса згорілих матеріалів, Мт	2400	1080	3	2.3	–	–
Маса диму, Мт	96	43.2	0.12	$9.2 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$9.3 \cdot 10^4$
Маса CO <sub>2</sub> , Мт	5400	2430	6.75	5.2	676	11.6
Маса CO, Мт	240	108	0.3	$2 \cdot 10^{-3}$	0.15	$2.3 \cdot 10^3$
Маса С, кт	7200	3240	9	6.9	0.15	$7 \cdot 10^4$
Маса вуглеводнів Мт	96	43.2	0.12	0.1	1.47	95
Енерговиділення, ПДж	$2.4 \cdot 10^4$	$1.1 \cdot 10^4$	30	23	–	–
Середня тривалість, діб	60	30	30	10	–	–
Середня потужність, ТВт	4	3.6	0.01	$2.3 \cdot 10^{-2}$	–	–
Енергія акустичного випромінювання, ПДж	72	33	$9 \cdot 10^{-2}$	$6.9 \cdot 10^{-2}$	0.117	900
Потужність акустичного випромінювання, ПВт	12	11.1	0.03	$6.9 \cdot 10^{-2}$	$3.9 \cdot 10^{-2}$	590

Із табл. 3.3 видно, що найбільш суттєві екологічні наслідки горіння великих лісових масивів у 2020 р. мали місце в Росії. В той же час в США вони були приблизно в 4 рази меншими. Значно меншими були екологічні наслідки

горіння великих лісних масивів у Іспанії й Україні.

За нашими розрахунками, маса емітованого вуглекислого газу склала близько 350 Мт, що в тисячі разів перевищило його масу в нормальних умовах. Маса викинутої сажі перевищила 10 Мт. Це майже в 100 тис. разів перевищує масу сажі у нормальних умовах.

Маса викиду вуглеводнів наблизилася до 140 Мт, що у 100 разів перевищило їхню масу в нормальних умовах. Маса інжектіваних в атмосферу інших хімічних елементів, що утворилися під час великомасштабних лісових пожеж, наведена в табл. 3.4. Із цієї таблиці видно, що найбільший викид був для азоту, кальцію та калію. Важливо, що найбільш значні викиди мали місце під час великомасштабних лісових пожеж у Росії, дещо менші – у США. Викиди в Іспанії й Україні були в сотні тисячі разів менші.

Таблиця 3.4

Маса інжектіваних хімічних речовин при лісових пожежах

Хімічний елемент	Країна				Сумарна інжекція
	Росія	США	Іспанія	Україна	
N, Мт	24–240	11–108	0,03–0,3	0,02–0,2	35–348
K, т	24–144	54–324	0,2–1,2	$(4,6–27,6) \cdot 10^{-2}$	80–470
Ca, т	48–96	108–216	0,4–0,8	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-2}$	160–320
Fe, т	7,2–44,4	16,2–100	0,06–0,37	$(1,4–8,5) \cdot 10^{-2}$	24–144
Zn, т	0,8–10,4	1,9–22,4	$(0,7–8,7) \cdot 10^{-2}$	$(1,6–20) \cdot 10^{-3}$	2,7–33,9
Cr, т	1,6–7,4	3,8–17,6	$(1,4–6,5) \cdot 10^{-2}$	$(3,2–14,9) \cdot 10^{-3}$	5,4–25
Br, т	0,8–2,8	1,9–6,2	$(0,7–2,3) \cdot 10^{-2}$	$(1,6–5,3) \cdot 10^{-3}$	2,7–8,9
Mn, т	0,1–2,9	0,27–7,83	$(1,0–29,0) \cdot 10^{-3}$	$(2,3–66,7) \cdot 10^{-4}$	0,4–10,7
Pb, т	0,4–0,8	1,08–2,16	$(0,4–0,8) \cdot 10^{-2}$	$(9,2–18,4) \cdot 10^{-3}$	1,6–3
Rb, т	0,2–0,6	0,54–1,35	$(0,2–0,5) \cdot 10^{-2}$	$(4,6–11,5) \cdot 10^{-4}$	0,8–1,95
Sr, т	0,1–0,6	0,27–1,35	$(0,1–0,5) \cdot 10^{-2}$	$(2,3–11,5) \cdot 10^{-4}$	0,4–2
Se, т	0,1–0,4	0,27–0,81	$(1,0–3,0) \cdot 10^{-3}$	$(2,3–6,9) \cdot 10^{-4}$	0,4–1,2

Енергія потужного акустичного випромінювання наблизилася до 100 ПДж, що майже в 1000 разів перевищило його енергію в нормальних умовах. Густина потоку акустичного випромінювання досягла 0.1–4 Вт/м<sup>2</sup> при нормі 10<sup>-</sup>

<sup>3</sup> Вт/м<sup>2</sup>. Добре відомо, що енергія акустичного випромінювання містить у собі 1–10% енергії інфразвукового випромінювання і склала при пожежах близько 100 ПДж, що майже у 1000 разів перевищило її енергію в нормальних умовах [28].

Густина потоку теплового випромінювання  $\Pi_t$  для різних значень надлишку температури  $\Delta T = T - T_0$  наведена в табл. 3.5. В залежності від надлишку температури над пожежею значення густини потоку теплового випромінювання варіюються на чотири порядки. За густини потоку теплового випромінювання, більшого за  $(0.1-1) \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>, як відомо, виникає займання лісових масивів, що призводить до значного розширення площі лісових пожеж. Зазвичай цьому в значній мірі сприяє інтенсивний вітер.

Таблиця 3.5

## Густина потоку тепла від пожежі

$\Delta T, K$	Надлишок температури при пожежі									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\Pi_t, \text{кВт/м}^2$	1	3,1	6,9	13	23	37	56	83	120	160

## 3.4. Висновки

1. Теоретичні розрахунки та математичне моделювання показали, що катастрофічні пожежі у Північній півкулі влітку у 2020 р. викликали дуже значні, рекордні екологічні наслідки. Найбільше постраждало лісів у Росії та США. При цьому постраждали екогеосистеми на площі до 15 млн га

2. Безповоротно втрачено понад 3,5 Гт деревини. Економічний збиток склав біля 750 млрд доларів США. Загинули та були травмовані десятки людей. Матеріальний і моральний збиток під час інтенсивних пожеж завдано багатьом тисячам людей.

3. Маса сажі та диму у 100 тис. разів перевищила їх масу в нормальних умовах. Значними були викиди CO, CO<sub>2</sub>, вуглеводнів, а також

енергій теплового і акустичного випромінювання. Маса диму та сажі в усій атмосфері збільшилася приблизно у 30 разів, а маса чадного газу – приблизно подвоїлася у порівнянні з нормальним станом. Завислі частинки диму та сажі, що знаходяться в тропосфері, як відомо, поступово вимиваються опадами. Частинки, що потрапили до стратосфери, існують там впродовж місяців і навіть років. В атмосферу було емітовано близько 140 Мт диму, що майже в 100 тис. разів перевищує його вміст у атмосфері над постраждалими лісами в нормальних умовах. В атмосферу інжектровано понад 10 Мт сажі, що в 70 тис. разів перевищує її вміст у нормальних умовах.

4. Маса інжектowanego чадного газу наблизилася до 350 Мт, що в 2,3 тис. разів перевищує вміст цього газу у нормальних умовах. Маса емітованих в атмосферу вуглеводнів сягала 140 Мт, що приблизно в 100 разів перевищило їхню масу в нормальних умовах.

5. В атмосферу додатково емітовано близько 7,8 Гт вуглекислого газу, що у 10 разів перевищило його вміст у нормальних умовах.

6. У атмосферу викинуто сотні мегатонн атомарного азоту, сотні тонн калію та кальцію, від одиниць до десятків тонн таких хімічних елементів, як Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr і Se.

7. Від теплового випромінювання страждали та навіть гинули люди. Густина потоку теплового випромінювання наблизилася до 56–160 кВт/м<sup>2</sup>, що зазвичай викликало посилення пожеж.

8. Енергія акустичного випромінювання містить у собі 1–10% енергії інфразвукового випромінювання і склала близько 100 ПДж. Це приблизно у 1000 разів перевищило її енергію в нормальних умовах. Звукові хвилі затухають на порівняно невеликих відстанях. На відміну від них інфразвукові хвилі поширюються в глобальних масштабах і негативно впливають на біосферу та, зокрема, на людей. Енергія інфразвукового випромінювання сягала 1–10 ПДж і це суттєво вплинуло на екогеосистеми. Хоча інфразвукове

випромінювання не сприймається вухами людини, воно суттєво впливає на всі його органи та загальний психоемоційний стан, викликаючи у людей паніку, страх і психічні розлади. Підкреслимо, що навіть після розподілення продуктів горіння лісів над усією земною кулею їх концентрація перевищувала концентрацію у нормальних умовах. Додамо, що це у першу чергу це відноситься до диму, сажі та чадного газу.

9. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж у 2020 р. для нашої планети стали рекордними.

## ВИСНОВКИ

1. Аналітичний огляд літератури показав, що на сьогодні відсутні математичне моделювання та детальні розрахунки комплексу екологічних наслідків потужних пірогенних процесів у конкретних регіонах планети та, зокрема, в Україні.

2. Обрано та обґрунтовано методи досліджень екологічних наслідків потужних пірогенних процесів у лісових масивах.

3. Детальні розрахунки та математичне моделювання показали, що лісові пожежі в Україні в 2020 р. призвели до дуже значних екологічних наслідків. Постраждали екологічні системи на площі понад 23200 га. Втрачено близько 2 Мт деревини. В процесі горіння в атмосферу надійшло до 1 Мт диму, що в 15,5 разів перевищило його середній вміст в атмосфері над усією територією України. До атмосфери потрапило близько 7 кт сажі, що більш ніж у 10 разів перевищило її середній фоновий вміст в атмосфері над усією Україною. Значними були викиди чадного газу (понад 230 кт), вуглеводнів (до 0,1 Мт), двоокису вуглецю (до 5,2 Мт). Істотними були також викиди інших хімічних елементів (від одиниць кілотонн до одиниць кілограм). До атмосфери потрапило понад 20 ПДж теплової енергії. Середня потужність горіння перевищувала 46 ГВт, що можна порівняти з потужністю всіх видів енергії, яку споживає наша країна (близько 150 ГВт). Емітовано близько 70 ТДж енергії акустичного випромінювання, що вдвічі перевищило її середній вміст в атмосфері над усією територією України. Значна частина цієї енергії припадала на шкідливий для біосфери інфразвуковий діапазон.

На основі математичного моделювання та детальних кількісних обчислень мас продуктів горіння, низки хімічних елементів і енергетики теплового та акустичного випромінювань вперше встановлено, що екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж 2020 р. для нашої країни стали рекордними.

4. Детальні розрахунки та математичне моделювання показали, що катастрофічні пожежі у Північній півкулі у 2020 р. викликали рекордні екологічні наслідки. Найбільше вигоріло лісів у Росії та США. Постраждали екогеосистеми на площі близько 15 млн га, що складає приблизно 0,1% площі суші Землі. Безповоротно втрачено більше 3,5 Гт деревини. Економічний збиток при цьому склав біля 750 млрд доларів США. Від пожеж загинули та були травмовані десятки людей. Матеріальний і моральний збиток завдано багатьом тисячам людей. Маса диму і сажі у 100 тис. разів перевищила їх масу у нормальних умовах. Дуже значними були викиди чадного та вуглекислого газів, вуглеводнів, а також енергій теплового і акустичного випромінювань. Маса диму та сажі у всій атмосфері збільшилася приблизно у 30 разів, а маса чадного газу – приблизно у 2 рази у порівнянні з нормальним станом. Частинки диму та сажі, що знаходяться в тропосфері, вимиваються опадами. Частинки, що потрапили до стратосфери, можуть існують там місяцями - роками. В атмосферу викинуто близько 140 Мт диму, що в 100 тис. разів перевищує його вміст у атмосфері над згорілими лісами в нормальних умовах. В атмосферу було емітовано понад 10 Мт сажі, що в 70 тис. разів перевищує її вміст у нормальних умовах. Маса інжектваного чадного газу сягала 350 Мт, що в 2,3 тис. разів перевищує його вміст у нормальних умовах. Маса викинутих в атмосферу вуглеводнів наблизилася до 140 Мт, що в 100 разів перевищило їх масу в нормальних умовах. В атмосферу додатково емітовано близько 7,8 Гт вуглекислого газу, що на порядок перевищило його вміст у нормальних умовах. У атмосферу викинуто сотні мегатонн атомарного азоту, сотні тонн калію та кальцію, а також від одиниць до десятків тонн таких хімічних елементів, як Fe, Zn, Cr, Br, Mn, Pb, Rb, Sr і Se. Від теплового випромінювання страждали та гинули люди. Густина потоку теплового випромінювання складала 56–160 кВт/м<sup>2</sup>, що могло викликати подальше посилення пожеж. Енергія акустичного випромінювання сягала 100 ПДж, що майже у 1000 разів перевищило її енергію в нормальних умовах. Енергія інфразвукового випромінювання, що

поширювалося в глобальних масштабах, склала 1–10 ПДж і це суттєво впливало на екогеосистеми. Важливо, що навіть після розподілення продуктів горіння лісів над усією земною кулею їхня концентрація перевищувала концентрацію у нормальних умовах. У першу чергу це відноситься до диму, сажі та чадного газу.

На основі математичного моделювання та детальних кількісних обчислень мас продуктів горіння, низки хімічних елементів і енергетики теплового та акустичного випромінювань вперше встановлено, що екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж у 2020 р. для нашої планети стали рекордними.

Основні результати дипломної роботи доповідалися на низці наукових конференцій та опубліковані у роботах [1–3, 40–55].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Титенко А. В., Черногор Л. Л. Экологические последствия крупномасштабных лесных пожаров в Украине весной–осенью 2020 г. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVI Всеукраїнських наукових Галіївських читань. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 164–166.

2. Черногор Л. Л. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні у 2020 р. Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 33–35.

3. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Екологічні наслідки великомасштабних лісових пожеж в Україні навесні – влітку – восени 2020 р. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 24. С. 79–90.

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-04>

4. Boer M. M., Resco de Dios V., Bradstock R.A. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. *Nature Climate Change*. 2020. Vol. 10. P. 171–172.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0716-1>

5. Khabarov N., Krasovskii A., Obersteiner M., Swart R., Dosio A., San-Miguel-Ayanz J., Durrant T., Camia A., Migliavacca M. Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*. 2016. Vol. 16. P. 21–30.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0621-0>

6. Silva S., Fearnside P., Graça P., Brown I., Alencar A., Melo A. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 424. P. 312–322.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.041>

7. Sparr H. S. Forest ecology. N. Y., 1964. 541 p.
8. Komarek E. V. 8 – Effects of Fire on Temperate Forests and Related Ecosystems: Southeastern United States / in book Fire and ecosystems. (Kozlowski T. T.) New York–San Francisco–London: Academic Press, 1974. P. 251–277.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-424255-5.50013-4>
9. Свириденко В. Є. Лісова пірологія. К.: Агропромвидав України, 1999. 172 с.
10. Буц Ю. В. Про математичне моделювання пожеж в природних екосистемах. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2012. №3–4. С. 17–22.  
URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/896/681>
11. Буц Ю. В., Ластков Д.О., Васенко А.Г. Современное состояние проблемы влияния пожаров на геосистемы различных природных зон территории Украины. Научно-методические и прикладные аспекты экологизации: Монография. Под общ. ред. И. Ю. Швеца. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. С. 7–30.
12. Буц Ю. В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження: дис. д-ра техн. наук. Суми: СумДУ, 2020. 399 с.
13. Кузик А. Д. Лісові пожежі та їх екологічні аспекти. Вісник ЛДУ БЖД. Львів. 2010. № 4. С. 124–128.
14. Кузик А. Д. Математичне моделювання пожежної небезпеки лісів. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.16. С. 104–112.
15. Ліщина В. О. Математичне моделювання виникнення та розповсюдження лісових пожеж: автореф. дис. канд. техн. наук: 01.05.03. Київ: Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», 2011. 22 с.
16. Некос В. Ю. Проблема впливу пожеж на стан рослинного покриву.

Людина і довкілля. Проблеми неоекології. Харків. № 1–2, 2008. С. 21–25.

17. Dhall A., Dhasade A., Nalwade A., V. K M. R., Kulkarni V. A survey on systematic approaches in managing forest fires. Applied Geography. 2020. Vol. 121. Article No. 102266.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102266>

18. Randerson J. T., Chen Y., van der Werf G. R., Rogers B. M., Morton D. C. Global burned area and biomass burning emissions from small fires. J. Geophys. Res. 2012. Vol. 117, Is. G4. Article no. G04012.

DOI: <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>

19. Пожежа в Чорнобильській зоні поширилася на територію понад 100 гектарів. (2020).

URL: <https://www.rbc.ua/ukr/news/pozhar-chernobylskoy-zone-rasprostranilsya-1586073354.html> (дата звернення: 20.04.2021).

20. Пожежі на Житомирщині: вогонь знищив 39 будівель. (2020).  
URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3008717-pozezi-na-zitomirsinivogon-znisiv-39-budivel.html> (дата звернення: 12.04.2021).

21. У Києві наразі фіксують найвищий рівень забруднення повітря у світі.

URL: <https://hromadske.ua/posts/u-kiyevi-narazi-fiksuyut-najvishij-riven-zabrudnennya-povitrya-u-sviti> (дата звернення: 21.04.2021).

22. Урядовий портал. Оперативна інформація щодо пожеж в екосистемах на території Харківської області (станом на 7:00 3 вересня).

URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/operativna-informaciya-shchodo-pozhezh-v-ekosistemah-na-teritoriyi-harkivskoyi-oblasti-standom-na-700-3-veresnya> (дата звернення: 15.04.2021).

23. ДСНС України. Пожежі в природних екосистемах на території Луганської області, які виникли 30 вересня та 1 жовтня ліквідовані.

URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nadzvichayni-podiyi/114930.html> (дата звернення: 02.04.2021).

24. Лісову пожежу в Харківській області загасили.

URL: <https://www.slovoidilo.ua/2020/09/06/novyna/suspilstvo/lisovu-pozhezhu-xarkivskij-oblasti-zahasyly-dsns> (дата звернення: 02.04.2021).

25. Масштабні лісові пожежі на Луганщині: текстовий онлайн.

URL: <https://hromadske.ua/posts/masshtabni-lisovi-pozhezhi-na-luganshini-tekstovij-onlajn> (дата звернення: 11.04.2021).

26. 7-8 липня 2020 р. Пожежі на Луганщині.

URL: <https://www.zvedeno.info/7-8-липня-2020-р-пожежі-на-луганщині/> (дата звернення: 02.04.2021).

27. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф: монография. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 556 с.

28. Черногор Л. Ф. Космос, Земля, человек: актуальные проблемы. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2017. 384 с.

29. Лісові пожежі зафіксовано в 77 з 83 російських регіонів, особливий протипожежний режим запроваджено в 49 суб'єктах федерації.

URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-world/3479656-rosia-u-vogni-lisovi-pozezi-ohopili-77-iz-83-regioniv.html> (дата звернення: 10.05.2022).

30. В России горят более 990 тысяч гектаров леса.

URL: <https://www.dw.com/ru/в-россии-горят-более-990-тысяч-гектаров-леса/a-53883974> (дата звернення: 11.09.2021).

31. От лесных пожаров небо Калифорнии стало оранжевым.

URL: <https://www.dw.com/ru/ot-lesnyh-pozharov-nebo-kalifornii-stalo-oranzhevym-a-54889865/a-54889865> (дата звернення: 11.09.2021).

32. У США рекордні лісові пожежі на сотні тисяч гектарів. І це лише

початок.

URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-57889538> (дата звернення: 11.09.2021).

33. В США бушують лесные пожары.

URL: <https://ru.euronews.com/2020/09/12/usa-west-coast-massive-fires> (дата звернення: 11.09.2021).

34. Катастрофічні екологічні наслідки горіння лісів у північній півкулі влітку 2020 року.

URL: <https://itta.info/katastrofichni-ekologichni-naslidki-gorinnya-lisiv-u-pivnichnij-pivkuli-vlitku-2020-roku/> (дата звернення: 11.09.2021).

35. Захід Канади після 12 тисяч ударів блискавок охопили лісові пожежі.

URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-57707864> (дата звернення: 11.09.2021).

36. На півночі Іспанії палає лісова пожежа: 1500 людей евакуювали.

URL: <https://suspilne.media/271126-na-pivnoci-ispanii-palae-lisova-pozeza-1500-ludej-evakuovali/> (дата звернення: 11.09.2021).

37. Пожежі в Греції: прем'єр каже про "кошмарне літо".

URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-58136543> (дата звернення: 11.09.2021).

38. У Франції за 24 години згоріли 2700 гектарів лісу, пожежі тривають

URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-world/3528470-u-francii-za-24-godini-zgorili-2700-gektariv-lisu-pozezi-trivaut.html> (дата звернення: 11.09.2021).

39. На пожежі в Луганській області загинула людина: горить 945 га.

URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2020/09/3/7265071/> (дата звернення: 11.09.2021).

40. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Математичні моделі для оцінки екологічних наслідків впливу пірогенного фактору на лісові екосистеми. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 27. С.51-62.

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-04>

41. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Моделювання параметрів великомасштабних лісових пожеж. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 26. С.43-54.

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-26-04>

42. Черногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л. Екологічні наслідки горіння лісових масивів у північній півкулі в 2020 р.: результати моделювання та кількісних розрахунків. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. № 25. С. 42–54.

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-04>

43. L. Chornohor, O. M. Bugai. Umweltfolgen großflächiger Waldbrände auf der Nordhalbkugel im Jahr 2020. Збірник студентських наукових праць „Сучасні тенденції у науці“. 2022. С. 10–15.

44. L. Tschornogor, O. M. Bugai. Umweltfolgen großer Waldbrände in der Ukraine im Frühjahr-Herbst 2020. Збірник студентських наукових праць „Сучасні тенденції у науці“. 2021. С. 68–15.

45. Tschernogor L., O. M. Bugai. Unfälle in kerntechnischen Anlagen. Збірник студентських наукових праць „Сучасні тенденції у науці“. 2020. С. 83–90.

46. L. Chernogor, A. Nekos, G. Titenko, L. Chernogor. Ecological consequences of the large forestfires in the northern hemisphere during 2020. Collective monograph. 2021. С. 259–276.

47. Черногор Л. Л., Черногор Л. Ф. Фізико-хімічні процеси та екологічні наслідки рекордних лісових пожеж у північній півкулі в 2020 р. “Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідації”. 2022. С. 216–218.

48. А. Н. Некос, Г. В. Тітенко, Л. Ф. Черногор, Л. Л. Черногор. Медико-екологічні наслідки великих пожеж у лісах північної півкулі. IV Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ–2021) : зб. наук. пр. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. С. 100–101.

49. Черногор Л. Л. Катастрофічні екологічні наслідки горіння лісів у північній півкулі влітку 2020 року. Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнського круглого столу, м. Київ, 16 вересня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. С. 83–88.

50. Леонід Черногор. Горіння лісових масивів у північній півкулі влітку 2020 року: катастрофічні екологічні наслідки. Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Х.:ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 62–63.

51. Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л., Черногор Л. Ф. Математичне моделювання процесів горіння великих лісових масивів. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. С. 128–131.

52. Некос А. Н., Тітенко Г. В., Черногор Л. Л., Черногор Л. Ф. Моделювання параметрів лісових пожеж та їх екологічних наслідків. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 81–83.

53. Черногор Л. Л., Некос А. Н., Тітенко Г. В. Фізико-математичне моделювання параметрів великомасштабних лісових пожеж. Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» 06 жовтня 2022 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 50.

54. Черногор Л. Л. Причинно-наслідкові зв'язки у системі «лісова пожежа – ґрунт – атмосфера – гідросфера – біосфера». Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців. Одеса: ОДЕКУ, 2022. С. 157–160.

55. Ganna TITENKO, Leonid CHORNOGOR, Leonid CHORNOHOR, Alla NEKOS. Renewable Energy in Ukraine and Environmental Issues. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи : зб. тез доповідей II Міжнародної Інтернет-конференції (м. Харків, 23 березня 2023 року). – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. – 125–127 с.