

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агротехнологій та природокористування

Кафедра екології та ботаніки

До захисту допускається
Завідувач кафедри екології та ботаніки

_____ І.В. Зубцова

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

на тему: «Оцінка впливу на довкілля спалювання сміття та
рослинних залишків»

Виконав: Філонов А.Д.

Група: ЕКО 2401м

Науковий керівник: Скляр Ю.Л

Рецензент: Швець О.Г..

Суми - 2025

АНОТАЦІЯ

Філонов Артем Денисович. Оцінка впливу на довкілля спалювання сміття та рослинних залишків. Кваліфікаційна робота за другим (освітньо-науковим) рівнем вищої освіти. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена комплексній оцінці впливу неконтрольованого спалювання побутових відходів та рослинних залишків на стан довкілля в Україні. Актуальність дослідження зумовлена значним поширенням практики спалювання, що призводить до забруднення атмосферного повітря, деградації екосистем та негативного впливу на здоров'я населення.

Об'єктом дослідження є атмосферне повітря в зонах спалювання побутових відходів та рослинних залишків. Предметом дослідження є забруднювальні речовини, що утворюються при спалюванні, та їх вплив на стан атмосферного повітря.

У роботі використано методи системного аналізу літератури та статистичних даних, розрахункові методи визначення обсягів викидів на основі коефіцієнтів емісії, методи оцінки економічних збитків від забруднення довкілля. Проаналізовано дані Державної служби України з надзвичайних ситуацій про пожежну ситуацію за 2023-2025 роки.

Встановлено, що щороку в Україні спалюється близько 500 тисяч тонн сухої рослинності та 100-150 тисяч тонн побутових відходів, що призводить до викидів 8-9 мільйонів тонн діоксиду вуглецю, 560-600 тисяч тонн чадного газу, 22-25 тисяч тонн оксидів азоту та 155-160 тисяч тонн твердих частинок. Особливу небезпеку становлять викиди діоксинів та важких металів при спалюванні побутових відходів.

Розраховано економічні збитки від спалювання, які становлять 82-106 мільярдів гривень на рік. Виявлено регіональні особливості проблеми з найвищою

інтенсивністю пожеж у південних областях. Розроблено комплекс заходів щодо зменшення негативного впливу, що включає удосконалення законодавства, створення інфраструктури для альтернативної утилізації відходів, економічне стимулювання та підвищення екологічної культури населення.

Результати можуть бути використані природоохоронними органами, органами місцевого самоврядування, освітніми закладами для розробки заходів щодо запобігання спалюванню відходів.

Ключові слова: спалювання відходів, забруднення атмосферного повітря, викиди забруднювальних речовин, діоксини, економічні збитки, екологічна оцінка, пожежі.

ABSTRACT

Filonov A. D. Environmental impact assessment of waste and plant residue burning. – Master's qualification work (second level of higher education). – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

This qualification work is devoted to a comprehensive assessment of the environmental impact of uncontrolled burning of household waste and plant residues in Ukraine. The relevance of the study is determined by the widespread practice of burning, which leads to air pollution, ecosystem degradation, and negative effects on public health.

The object of the study is atmospheric air in zones of household waste and plant residue burning. The subject of the study is pollutants formed during burning and their impact on air quality.

The research employed methods of systematic literature and statistical data analysis, calculation methods for determining emission volumes based on emission factors, and methods for assessing economic damage from environmental pollution. Data from the State Emergency Service of Ukraine on fire situations for 2023-2025 were analyzed.

It was established that approximately 500 thousand tons of dry vegetation and 100-150 thousand tons of household waste are burned annually in Ukraine, resulting in emissions of 8-9 million tons of carbon dioxide, 560-600 thousand tons of carbon monoxide, 22-25 thousand tons of nitrogen oxides, and 155-160 thousand tons of particulate matter. Emissions of dioxins and heavy metals from household waste burning pose a particular danger.

Economic damage from burning was calculated at 82-106 billion hryvnias per year. Regional characteristics of the problem were identified, with the highest fire intensity in southern regions. A comprehensive set of measures to reduce negative impacts was developed, including legislative improvement, creation of infrastructure for alternative waste disposal, economic incentives, and raising public environmental awareness.

The results can be used by environmental authorities, local governments, and educational institutions for developing measures to prevent waste burning.

Keywords: waste burning, air pollution, pollutant emissions, dioxins, economic damage, environmental assessment, fires.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, що безпосередньо впливає на якість життя населення та стан природних екосистем [5, 11]. Серед численних джерел забруднення атмосфери особливе місце займає неконтрольоване спалювання побутових відходів та рослинних залишків, яке набуло широкого розповсюдження в Україні, особливо в сільській місцевості [34].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, щороку в країні реєструються десятки тисяч випадків пожеж, спричинених спалюванням сухої рослинності та сміття [3]. У 2024 році було зафіксовано 101 437 випадків пожеж, а у 2025 році за перші чотири місяці вже зареєстровано 40 923 випадки, що на 57% перевищує показник попереднього року. Ці пожежі не лише знищують природні екосистеми, а й призводять до викидів в атмосферу значних обсягів токсичних речовин [23]. За даними Міністерства захисту довкілля, у 2022-2023

роках масштабні пожежі спричинили викиди понад 7 мільйонів тонн вуглекислого газу в атмосферу, що еквівалентно річним викидам середнього промислового регіону.

Проблема спалювання відходів має комплексний характер, поєднуючи екологічні, соціальні, економічні та правові аспекти [24, 34]. Вона зумовлена недосконалістю системи поводження з відходами [28], відсутністю належної інфраструктури для їх утилізації, недостатнім рівнем екологічної культури населення та слабким контролем з боку природоохоронних органів [27]. В умовах ратифікації Україною Угоди про асоціацію з Європейським Союзом та імплементації європейських екологічних директив, зокрема Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря [39], актуальність дослідження впливу спалювання відходів на довкілля значно зростає.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є комплексна оцінка впливу на довкілля спалювання побутових відходів та рослинних залишків, визначення екологічних наслідків цього процесу та розроблення науково обґрунтованих заходів щодо їх мінімізації.

Для досягнення мети поставлено завдання: проаналізувати сучасний стан проблеми спалювання відходів у світі та в Україні; дослідити масштаби та екологічні наслідки пожеж; визначити основні причини їх виникнення; охарактеризувати викиди забруднювальних речовин та їх вплив на довкілля; провести оцінку стану атмосферного повітря в районах спалювання; розрахувати обсяги викидів та економічні збитки; розробити систему заходів щодо зменшення негативного впливу.

Об'єкт дослідження – атмосферне повітря в зонах спалювання побутових відходів та рослинних залишків.

Предмет дослідження – забруднювальні речовини, що утворюються при спалюванні відходів, та їх вплив на стан атмосферного повітря.

Методи дослідження: системного аналізу літератури та нормативно-правової документації; польових досліджень якості атмосферного повітря [4]; інструментальних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин [8]; розрахунково-аналітичні методи визначення обсягів викидів [21]; методи розрахунку економічних збитків [29]; статистичної обробки даних; картографічні методи; математичного моделювання розсіювання забруднювальних речовин.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше проведено комплексну оцінку впливу спалювання різних видів відходів на якість атмосферного повітря в Україні. Встановлено залежності між типом спалюваних матеріалів та складом утворюваних забруднювальних речовин. Розраховано обсяги викидів основних забруднювальних речовин при спалюванні різних категорій відходів. Визначено економічні збитки від погіршення якості атмосферного повітря. Розроблено науково обґрунтовану систему заходів щодо мінімізації негативного впливу.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використані природоохоронними органами для моніторингу якості повітря та контролю за дотриманням законодавства [31, 32]; органами місцевого самоврядування для розроблення заходів щодо поводження з відходами; аварійно-рятувальними службами для оцінки ризиків; освітніми закладами при викладанні екологічних дисциплін.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто проведено аналіз літературних джерел, систематизацію даних щодо пожежної ситуації, аналіз складу забруднювальних речовин, розрахунки обсягів викидів та економічних збитків, узагальнено результати та сформульовано висновки.

Апробація результатів роботи. За результатами досліджень було опубліковано наукову працю: Філонов А.Д. Оцінка впливу на довкілля спалювання сміття та рослинних залишків. Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-18 квітня 2025 р.). Суми, 2025. С. 30.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел (45 найменування, з них 11 іноземними мовами) та додатків. Повний обсяг – 81 сторінка, основний текст – 78 сторінок, 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ СПАЛЮВАННЯ СМІТТЯ ТА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ

1.1. Забруднення атмосферного повітря як глобальна екологічна проблема

Протягом останнього століття забруднення атмосферного повітря стало однією з найгостріших екологічних криз глобального масштабу, впливаючи на клімат, екосистеми та здоров'я людей [5, 36]. Процеси індустріалізації, урбанізації та стрімкий розвиток транспортної інфраструктури спричинили різке зростання викидів шкідливих речовин у атмосферу. До основних забруднювачів належать оксиди сірки, азоту, вуглецю, леткі органічні сполуки, важкі метали та тверді частинки різних фракцій [1, 10].

Неконтрольовані викиди парникових газів спричинили глобальне потепління. Середньорічна температура планети зросла приблизно на 1,2°C від початку ХХ століття [42]. Це призвело до танення льодовиків, підвищення рівня Світового океану та зростання частоти екстремальних погодних явищ. Засухи, повені та

урагани стають все частішими та руйнівнішими, завдаючи величезних економічних збитків та забираючи людські життя. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, забруднення повітря щороку спричиняє передчасну смерть приблизно 7 мільйонів людей у світі [35, 36].

У другій половині XX століття застосування хлорфторвуглеців у промисловості та побуті спричинило руйнування озонового шару в стратосфері [11]. Утворилися озонові діри, що призвели до підвищення рівня ультрафіолетового випромінювання. Це збільшило ризик розвитку онкологічних захворювань у людей та завдало значної шкоди екосистемам, особливо морським. Лише після підписання Монреальського протоколу у 1987 році та поступового відмовлення від використання озоноруйнівних речовин ситуація почала покращуватися, хоча повне відновлення озонового шару очікується лише до середини XXI століття.

Викиди оксидів сірки та азоту в атмосферу спричинили формування кислотних опадів [11]. У 1970-1980-х роках кислотні дощі завдали катастрофічних збитків лісам Центральної Європи, Скандинавії та Північної Америки. Загинули цілі лісові масиви, закислились тисячі озер, де зникла вся риба. Корозія будівель, пам'яток архітектури та промислових споруд призвела до мільярдних економічних втрат. Хоча після впровадження міжнародних угод щодо скорочення викидів ситуація дещо покращилась, проблема кислотних опадів залишається актуальною в багатьох регіонах світу, особливо в країнах, що розвиваються.

Пожежі є однією з найпоширеніших екологічних катастроф сучасності [42]. Вони відбуваються практично в усіх регіонах планети, а найбільші руйнування припадають на теплу пору року. Ліси, степи, савани, торфовища горять щороку на мільйонах гектарів. Вогонь знищує не лише рослинність, а й тваринний світ, руйнує ґрунти, забруднює атмосферу та водні об'єкти. Дим від пожеж може поширюватися на тисячі кілометрів, впливаючи на якість повітря в регіонах, віддалених від вогнища [40, 41].

За даними Програми ООН з довкілля, спалювання біомаси та відходів є джерелом до 20% глобальних антропогенних викидів парникових газів [42]. Особливо гостро ця проблема проявляється в країнах, що розвиваються, де спалювання відходів часто є єдиним доступним способом їх утилізації. В Європейському Союзі, незважаючи на розвинену систему управління відходами, до 30% забруднення повітря у сільських регіонах пов'язане зі спалюванням рослинних залишків [39].

Джерела забруднення атмосферного повітря в Україні

В Україні проблема забруднення атмосферного повітря має особливо гострий характер через поєднання промислової діяльності, транспортних викидів, енергетичного сектору та неконтрольованого спалювання відходів [13, 23, 25]. Пожежі є одним із ключових факторів забруднення. Вони викидають у атмосферу діоксид вуглецю, чадний газ, сажу, оксиди азоту та дрібнодисперсний пил [15].

Основна частина пожеж має антропогенне походження, тобто спричинена діяльністю людини [3]. Найчастіше це навмисне чи необережне підпалювання сухої рослинності, стерні або побутових відходів, що активно відбувається навесні й восени [27]. Люди спалюють сухостій, прагнучи очистити ділянки чи прискорити ріст трави. Багато хто не усвідомлює, що навіть невелике займання може викликати масштабні пожежі [2, 6]. Вітер швидко розносить іскри на великі відстані, вогонь переходить на суміжні ділянки, лісосмуги, житлові будинки. За статистикою, такі випадки становлять до 90% всіх пожеж у природних екосистемах України [9].

Серед основних причин виникнення пожеж можна виділити кілька факторів. По-перше, це необізнаність населення про екологічні та економічні наслідки спалювання [33]. Багато людей, особливо старшого покоління, вважають спалювання традиційним та нешкідливим методом очищення території. Існує поширена помилкова думка, що попіл від спаленої трави є добривом для ґрунту, хоча насправді спалювання знищує корисні мікроорганізми та погіршує структуру ґрунту [6].

По-друге, недосконала система управління відходами змушує людей самостійно вирішувати проблему накопичених відходів [28, 34]. У багатьох сільських населених пунктах відсутні організовані системи збору та вивезення сміття, немає контейнерних майданчиків, рідко здійснюється вивезення відходів. Відстань до найближчого пункту прийому відходів може становити десятки кілометрів, що робить їх використання непрактичним для більшості населення.

По-третє, слабкий контроль з боку природоохоронних органів та низька ймовірність притягнення до відповідальності за порушення створюють ситуацію безкарності [30]. Навіть у випадках, коли порушення фіксується, процедура притягнення до відповідальності може бути тривалою та складною. Розміри штрафів, передбачені законодавством [27, 30], часто не відповідають масштабам завданої шкоди та не становлять достатнього стримуючого фактору.

Промисловість залишається важливим джерелом забруднення атмосферного повітря в Україні [13]. Підприємства металургії, хімічної, цементної та нафтопереробної галузей викидають у атмосферу сотні тисяч тонн шкідливих речовин щороку. У Кривому Розі, Дніпрі, Запоріжжі концентрації діоксиду сірки, оксидів азоту, чадного газу, пилу та важких металів регулярно перевищують гранично допустимі норми [25]. Старе обладнання та відсутність сучасних систем очищення викидів загострюють проблему. Багато підприємств працюють на застарілих технологіях, які не відповідають сучасним екологічним стандартам [14].

Транспортний сектор також вносить значний внесок у забруднення повітря [21]. У великих містах України до 60-70% усіх шкідливих речовин виробляється автомобілями. Київ, Харків, Львів, Дніпро, Одеса страждають від транспортних заторів, особливо в години пік. Старі дизельні автомобілі виділяють оксиди азоту, сажу, бензапірен та дрібнодисперсний пил $PM_{2.5}$, що негативно впливає на здоров'я населення [41]. Низька якість палива та відсутність строгого екологічного контролю за викидами погіршують ситуацію.

Теплоелектростанції, що працюють на вугіллі та мазуті, створюють суттєве навантаження на атмосферу [38]. Спалювання цих видів палива супроводжується утворенням твердих частинок, оксидів сірки та азоту, вуглецю та канцерогенів. Більшість ТЕС в Україні побудовані у ХХ столітті та мають застарілі системи очищення димових газів [23]. Бурштинська, Трипільська, Вуглегірська та інші великі ТЕС щороку викидають мільйони тонн забруднювальних речовин.

Воєнна діяльність, що розпочалася у 2022 році, додала новий потужний фактор забруднення атмосферного повітря [23]. Руйнування промислових об'єктів, вибухи боєприпасів, пожежі складів, нафтобаз, лісових масивів і торфовищ спричиняють потрапляння до атмосфери величезної кількості токсичних речовин. Вибухи утворюють продукти горіння небезпечних матеріалів, металевий пил, чадний газ. У прифронтових містах рівень забруднення повітря багаторазово перевищував допустимі показники. Населення змушене дихати повітрям, насиченим токсинами, що призводить до масових захворювань.

Загалом причини забруднення атмосфери в Україні мають здебільшого антропогенне походження, охоплюючи широкий спектр джерел [1, 5, 10]. Ефективне вирішення проблеми потребує інтегрованого підходу, що включає модернізацію виробництв, розвиток екологічно чистого транспорту, посилений державний контроль за викидами та формування екологічної свідомості громадян [24, 32].

1.2. Пожежна ситуація у світі

Проблема пожеж на планеті залишається одним із найважливіших екологічних викликів сучасності [42]. За останні десятиліття масштаби та частота пожеж невпинно зростають. Вони охоплюють не лише природні екосистеми, а й сільськогосподарські угіддя та міські території. За даними Програми ООН з

навколишнього середовища, щороку пожежі знищують сотні мільйонів гектарів земної поверхні [42].

Щороку у світі вогонь охоплює величезні території. Найбільше страждають тропічні регіони Африки, Південної Америки, Індонезії та Австралії [44]. За даними Глобальної системи моніторингу пожеж, близько 90% усіх пожеж у світі мають антропогенне походження [43]. Вони виникають через спалювання рослинних залишків, навмисні підпали для розчищення земель, неконтрольоване очищення територій для сільського господарства або недбале поводження з вогнем.

Африка продовжує залишатися регіоном із найбільшим рівнем пожежної активності [37]. На неї припадає майже половина глобальних пожеж. Особливо схильні до займання савани та тропічні ліси Центральної й Східної Африки. За рік тут під полум'я потрапляє більше 100 мільйонів гектарів територій. У саванах Африки пожежі мають сезонний характер, пов'язаний з сухим періодом. Місцеве населення традиційно використовує вогонь для очищення земель, полювання, оновлення пасовищ. Однак масштаби цієї практики призводять до деградації екосистем та значних викидів парникових газів [44].

Південна Америка, зокрема Амазонія, стикається з катастрофічною ситуацією. За перші шість місяців 2024 року зареєстровано понад 90 тисяч осередків займання [37]. Більшість пожеж пов'язані зі знелісненням та спалюванням рослинності для створення сільськогосподарських угідь. Амазонські ліси, що називають легенями планети, щороку втрачають тисячі квадратних кілометрів площі. Вирубівання лісів та наступне спалювання рослинних решток є основним методом підготовки земель під пасовища та плантації сої [44]. Це призводить до величезних викидів вуглекислого газу та метану в атмосферу, а також до втрати унікального біорізноманіття.

Північна Америка також зазнає значних втрат від пожеж. У Канаді у 2023 році пожежі охопили площу лісів більше ніж 18 мільйонів гектарів, що в шість разів перевищує середньорічний показник попередніх років [37]. Дим від канадських

пожеж поширився на тисячі кілометрів, досягнувши великих міст США, таких як Нью-Йорк, Вашингтон, Філадельфія. Концентрації дрібнодисперсних частинок у повітрі цих міст перевищували норми у 10-15 разів, що змусило владу рекомендувати населенню залишатися вдома та користуватися респіраторами [40]. У США пожежі особливо поширені в західних штатах, таких як Каліфорнія, Орегон, Вашингтон. Тривалі періоди посухи, високі температури та сильні вітри створюють ідеальні умови для виникнення та швидкого поширення вогню.

В Індонезії та Малайзії масштабні торф'яні пожежі спричинили густий смог, який охопив значну частину Південно-Східної Азії [17]. Торф'яні пожежі є особливо небезпечними, оскільки торф горить повільно з виділенням великих кількостей чадного газу та токсичних речовин. Вогонь може тліти під землею на глибині до двох метрів, залишаючись невидимим протягом тривалого часу [17]. Гасіння торф'яних пожеж є надзвичайно складним та потребує великих обсягів води. Смог від індонезійських пожеж регулярно паралізує життя в Сінгапурі, Малайзії, південних провінціях Таїланду, змушуючи закривати школи, скасовувати авіарейси, евакуювати населення.

Австралія щороку стикається з сезоном пожеж, що триває з листопада по березень [43]. Особливо катастрофічним був сезон 2019-2020 років, коли вогонь охопив понад 18 мільйонів гектарів території, знищив тисячі будинків, загинуло близько 3 мільярдів тварин. Дим від австралійських пожеж обійшов земну кулю, впливаючи на якість повітря навіть у Південній Америці та Антарктиді.

Екологічні та економічні наслідки світових пожеж

Наслідки пожеж є надзвичайно руйнівними для довкілля та економіки [40, 41, 42]. За оцінками ООН, щорічно внаслідок спалювання біомаси в атмосферу викидається понад 8 мільярдів тонн CO₂, що може становити до 20% усіх антропогенних викидів парникових газів [44]. Окрім вуглекислого газу, у повітря потрапляють метан, чадний газ, тверді частинки, формальдегід, бензопірен, фурані

та діоксини [26, 38]. Ці шкідливі речовини сприяють утворенню смогу, погіршують якість повітря, викликають кислотні дощі та посилюють парниковий ефект.

Згідно з даними Всесвітньої метеорологічної організації, у 2023-2024 роках рівень забруднення повітря від пожежного диму в Північній Америці та Європі досяг рекордних показників [45]. Концентрація дрібнодисперсного пилу в окремих містах перевищувала норму у 10-15 разів. Дим містить велику кількість канцерогенних речовин, які при тривалому впливі можуть спричинити онкологічні захворювання [41]. Особливо небезпечні дрібнодисперсні частинки $PM_{2.5}$, які здатні проникати глибоко в легені та навіть потрапляти в кровообіг.

Пожежі завдають величезних збитків біорізноманіттю. Загибають тисячі видів рослин і тварин, руйнуються унікальні екосистеми [12]. В Австралії під час катастрофічного сезону пожеж 2019-2020 років загинуло близько 3 мільярдів тварин, включаючи сумчастих, плазунів, птахів. Деякі види, що були на межі зникнення, втратили значну частину своєї популяції та місць існування. Відновлення таких екосистем може тривати десятиліттями.

Економіка країн також зазнає величезних втрат [42]. У США та Канаді у 2023 році збитки від пожеж перевищили позначку у 20 мільярдів доларів. Це включає прямі втрати від знищення лісів, будівель, інфраструктури, а також непрямі втрати від закриття бізнесів, евакуації населення, витрат на гасіння та відновлення. Економіка країн Південної Америки, таких як Бразилія та Болівія, зазнає величезних втрат через скорочення лісових ресурсів, деградацію ґрунтів та знищення врожаю [44].

Масові евакуації, втрата житла, руйнування інфраструктури створюють нову категорію кліматичних мігрантів [42]. За даними Програми ООН з довкілля, щороку близько 50 мільйонів людей у світі стикаються з наслідками пожеж як безпосередньо, так і через забруднення повітря. Ситуація ускладнюється тим, що найбільш вразливими виявляються малозабезпечені спільноти, які не мають достатніх ресурсів для евакуації чи адаптації. У країнах Африки та Південно-

Східної Азії пожежі часто супроводжуються голодом, втратою засобів існування та деградацією земель, на яких базується місцеве сільське господарство.

1.3. Пожежна ситуація в Україні

В Україні проблема пожеж залишається надзвичайно актуальною через поєднання природних кліматичних умов, діяльності людини та недоліків у системі запобігання та ліквідації пожеж [3, 16]. Щорічно на території країни фіксуються десятки тисяч випадків загорянь, які охоплюють як природні екосистеми, так і населені пункти.

За інформацією Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2023 році було зафіксовано понад 110 тисяч пожеж, близько 40% яких виникли в природному середовищі [3]. Серед них найбільше постраждали ліси, торфoviща, сільськогосподарські угіддя та відкриті ділянки. Найвищий ризик виникнення пожеж традиційно припадає на весняно-осінній період, коли масово здійснюється спалювання сухої рослинності й відходів [27].

Ситуація є особливо критичною у південних і східних регіонах країни. Посушливий клімат, високі температури та недостатній рівень зволоження в цих місцевостях створюють сприятливі умови для виникнення великих займань. До найбільш уразливих територій належать Херсонська, Запорізька, Миколаївська, Дніпропетровська та Луганська області. Крім того, ситуацію погіршує воєнний конфлікт на сході України, через який значна частина територій є замінованою або залишається недоступною для здійснення профілактичних заходів, що значно ускладнює боротьбу з пожежами [23].

Статистика пожеж в Україні

У 2023 році на території України було зафіксовано 28 965 пожеж, що на 41,3% менше порівняно з попереднім роком [3]. Внаслідок цих подій загинуло 846 осіб, серед яких було 24 дитини. Ще 814 осіб зазнали травмувань, з них 81 дитина.

Загальні матеріальні втрати склали понад 54 мільярди гривень, із яких прямі збитки оцінюються у 15,8 мільярда гривень [29]. Це свідчить про величезний економічний тягар, який несе держава внаслідок пожеж.

У 2024 році кількість пожеж суттєво зросла, досягнувши 101 437 випадків по всій країні [3]. Основними причинами стали спалювання сухої рослинності, обстріли прифронтових територій, а також тривала посуха, що особливо вразила південні регіони. За свідченнями ДСНС, пожежі охоплювали не лише житлові будівлі, але й природні екосистеми, включаючи ліси та торфовища. Різке зростання кількості пожеж порівняно з попереднім роком пов'язане з кількома факторами. По-перше, погодні умови 2024 року були особливо сприятливими для виникнення пожеж через аномальну спеку та посуху в літні місяці. По-друге, продовження воєнних дій призвело до збільшення кількості пожеж від обстрілів та бойових дій. По-третє, недостатня профілактична робота та низький рівень контролю за дотриманням протипожежних норм у сільській місцевості сприяли масовим підпалам сухої рослинності.

Протягом 2025 року тенденція до збільшення кількості пожеж продовжує зберігатися. За перші чотири місяці було зареєстровано 40 923 випадки займання, що на 57% перевищує показник за аналогічний період попереднього року [3]. Найбільше випадків зафіксовано у Київській, Дніпропетровській, Харківській, Львівській та Одеській областях. Пожежі завдали значних збитків сільськогосподарським угіддям, лісам та приватним володінням. Такі темпи зростання є надзвичайно тривожними та свідчать про необхідність термінового вжиття комплексних заходів для зміни ситуації.

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, у 2022–2023 роках масштабні пожежі спричинили викиди понад 7 мільйонів тонн вуглекислого газу в атмосферу [23]. Це еквівалентно річним викидам середнього промислового регіону і суттєво впливає на загальний баланс парникових газів в

Україні. Окрім діоксиду вуглецю, значну частку викидів становлять метан, чадний газ, оксиди азоту та сірки, дрібнодисперсний пил, канцерогенні сполуки [15, 26].

Особливості пожеж в Україні

Україна часто стикається з торф'яними пожежами, які є особливо небезпечними через труднощі з їх виявленням і ліквідацією [17]. Вогонь може тліти на глибині до двох метрів під землею, залишаючись невидимим протягом тривалого часу. Такі пожежі продукують значну кількість чадного газу, що викликає задимлення навколишніх населених пунктів і загрожує здоров'ю людей. Торф'яні пожежі особливо поширені на Поліссі, де зосереджені великі площі торфовищ, багато з яких раніше були осушені для сільськогосподарських потреб [17].

Найбільш відомим прикладом торф'яної катастрофи є пожежі в зоні відчуження Чорнобильської АЕС, що періодично виникають у весняно-літній період. Особливо масштабні пожежі спалахували у квітні 2020 року, коли вогонь охопив понад 11 тисяч гектарів території [9]. Небезпека таких пожеж полягає не лише в масштабах знищення лісових масивів, а й у ризику підняття в повітря радіоактивних частинок, що осіли в ґрунті після аварії 1986 року. Дим від цих пожеж може переносити радіонукліди на значні відстані, створюючи загрозу для населення навколишніх регіонів.

Лісові пожежі, зокрема в соснових масивах Полісся, швидко поширюються через легкозаймисту рослинність та відсутність системних протипожежних смуг [9]. Додатковими викликами є недофінансування лісгоспів, застаріла техніка, недостатня кількість водозаборів та недосконала система моніторингу. У багатьох лісових господарствах бракує сучасного обладнання для виявлення та гасіння пожеж на ранніх стадіях. Протипожежні дороги та мінералізовані смуги часто перебувають у незадовільному стані через відсутність регулярного догляду та очищення [30].

Степові пожежі є характерною проблемою для південних областей України. У весняний період, коли суха минулорічна рослинність ще не вбрана новою, а також

восени після висихання трав, степові пожежі можуть охоплювати тисячі гектарів за кілька годин [6, 7]. Вони знищують природну степову рослинність, яка в Україні вже значно скоротилася порівняно з історичними площами. Степові пожежі також створюють загрозу для сільськогосподарських угідь, сіл, інфраструктурних об'єктів.

Сільськогосподарські пожежі, пов'язані зі спалюванням стерні після збору врожаю, є поширеною практикою в Україні, незважаючи на законодавчу заборону [27]. Фермери та власники земельних ділянок часто вдаються до спалювання стерні, вважаючи це швидким та дешевим способом підготовки поля до наступного сезону. Однак така практика має численні негативні наслідки [6]. Вона знищує органічну речовину в ґрунті, корисні мікроорганізми, дощових черв'яків, насіння бур'янів разом із насінням корисних рослин. Високі температури при горінні змінюють структуру ґрунту, знижують його родючість. Дим від спалювання стерні містить велику кількість твердих частинок, чадного газу, оксидів азоту, що погіршує якість повітря в прилеглих населених пунктах [20].

Вогонь завдає величезних матеріальних збитків [13, 29]. Щороку Україна втрачає мільярди гривень через руйнування лісів, сільськогосподарських культур, інфраструктури та житла. Окрім прямих втрат, пожежі мають низку непрямих наслідків: погіршення якості повітря, деградація ґрунтів, скорочення площ родючих земель та зниження туристичної привабливості регіонів. Деградація ґрунтів після пожеж призводить до зниження врожайності на роки вперед, що завдає значних економічних збитків сільськогосподарським підприємствам [6].

1.4. Причини виникнення пожеж при спалюванні відходів

Як зазначалося раніше, найпростішим та найпоширенішим фактором забруднення довкілля є пожежі, однією з головних причин яких є халатність населення [30, 33]. Для багатьох власників приватних ділянок є нормальним

спалювання різного роду сміття на подвір'ї, на полях та городах. Попри офіційну заборону на спалювання [27], ця практика досі широко поширена, особливо в весняно-осінній період.

Селяни та власники приватних господарств нерідко спалюють суху траву, листя, гілки або стерню після збору врожаю, вважаючи це швидким і зручним способом очищення земельних ділянок. Водночас більшість людей не замислюються над тим, що навіть невелике займання може швидко поширитися через вітер або низьку вологість і перерости у значну пожежу [30]. Додатково до цього проблемою є підпали сміттєзвалищ, які тижнями горять, забруднюючи повітря токсичними сполуками і створюючи небезпеку для довкілля та населення [33]. При цьому люди не до кінця усвідомлюють всю небезпеку, яка виникає внаслідок самовільного спалювання побутових відходів чи рослинних залишків.

Масштаби та наслідки цих пожеж мають системний характер і становлять серйозну загрозу для довкілля, здоров'я людей та кліматичної стабільності [36, 40]. Сприятливі природні умови значно підвищують ризик виникнення пожеж. Тривалі періоди посухи, відсутність опадів, підвищена температура повітря та сильні вітри сприяють швидкому поширенню вогню [43]. Особливо небезпечними є моменти, коли суха рослинність накопичується на великих територіях, таких як польові ділянки, лісосмуги, схили чи узбіччя доріг. Відсутність своєчасного прибирання сухостою та недосконалість системи нагляду роблять ці місцевості вразливими до спалахів вогню.

Кліматичні зміни посилюють проблему пожеж в Україні [45]. За останні десятиліття спостерігається тенденція до зростання середньорічних температур, збільшення кількості спекотних днів влітку та зменшення кількості опадів у весняно-літній період. Це створює ідеальні умови для виникнення та поширення пожеж. Особливо небезпечними є періоди, коли висока температура поєднується з сильним вітром та низькою вологістю повітря. У таких умовах навіть невелика іскра

може призвести до масштабної пожежі, яка за кілька годин охопить сотні гектарів території.

Психологічні та соціальні фактори також відіграють важливу роль у виникненні пожеж. Багато людей спалюють відходи та рослинні залишки через звичку, традицію, відсутність альтернатив або просто через небажання витратити зусилля на правильну утилізацію [34]. У сільській місцевості, особливо серед старшого покоління, спалювання трави та листя розглядається як традиційний та природний спосіб очищення території. Існує стійка, хоча й хибна, думка про користь спалювання для ґрунту. Насправді ж спалювання рослинності не лише не приносить користі, а й завдає значної шкоди [6, 12].

Економічні чинники також сприяють поширенню практики спалювання. Для багатьох людей, особливо в сільській місцевості, спалювання є найдешевшим способом позбутися відходів [28, 34]. Альтернативні методи, такі як вивезення відходів на сміттєзвалище, компостування, здача на переробку, потребують або фінансових витрат, або значних зусиль. У багатьох селах відсутні організовані системи збору сміття, найближчий контейнер може знаходитися за кілька кілометрів. Платні послуги з вивезення відходів є недоступними для багатьох мешканців через високу вартість.

Недосконалість інфраструктури управління відходами є системною проблемою [24, 34]. У більшості сільських населених пунктів немає централізованих систем збору та утилізації відходів. Контейнерні майданчики, пункти прийому вторинної сировини, компостні станції є рідкістю. Навіть там, де такі об'єкти існують, вони часто працюють нерегулярно або недостатньо ефективно. Відсутність інфраструктури для роздільного збору відходів означає, що органічні рослинні залишки, які можна було б компостувати, змішуються з іншим сміттям і не можуть бути утилізовані екологічно безпечним способом.

Слабкий контроль та невідворотність покарання також сприяють збереженню практики спалювання [27, 30]. Законодавство України передбачає штрафи за

спалювання сухої рослинності та відходів, проте рівень контролю за дотриманням цих норм залишається низьким. Екологічні інспектори не можуть охопити всі території, особливо віддалені сільські райони. Навіть коли порушення фіксується, процедура притягнення до відповідальності може бути тривалою і складною. Розміри штрафів часто є недостатніми для створення реального стримуючого ефекту, особливо для заможніших порушників.

1.5. Викиди забруднювальних речовин при спалюванні

Пожежі через спалювання сміття становлять серйозну загрозу, особливо через те, що в процесі горіння пластику, гуми та хімічних відходів утворюються шкідливі речовини, зокрема діоксини, фурани та інші токсичні компоненти [26, 38]. Вони накопичуються у повітрі, ґрунті та водоймах, погіршуючи екологічну ситуацію.

Наслідки подібних пожеж мають комплексний характер [7, 15]. Передусім, значно зростає забруднення атмосфери. При горінні виділяються небезпечні речовини, такі як чадний газ, оксиди азоту та сірки, дрібнодисперсний пил, а також канцерогени, серед яких формальдегід, бензапірен і феноли [8]. Ці хімічні сполуки можуть довгий час залишатися у повітрі, потрапляти в організм людини через дихальну систему та спричиняти захворювання дихальної, серцево-судинної системи й онкологічні недуги [36, 41].

Тверді частинки (PM_{2.5} і PM₁₀)

Основними складовими викидів є тверді частинки PM_{2.5} і PM₁₀, які вважаються одним із найнебезпечніших джерел забруднення повітря [41]. Ці частинки складаються з найдрібніших фрагментів сажі, органічних сполук та важких металів, здатних тривалий час залишатися у повітрі. При потрапленні в дихальні шляхи людини вони осідають у легенях, спричиняючи хронічні

захворювання, такі як бронхіти, астму та інші порушення дихальної системи, а також підвищують ризик серцево-судинних патологій [40, 41].

Частинки $PM_{2.5}$ є особливо небезпечними через їх здатність проникати глибоко в альвеоли легень і навіть потрапляти в кровообіг [36]. Це може призводити до системного запалення в організмі, підвищення кров'яного тиску, утворення тромбів, що збільшує ризик інфарктів та інсультів. Довготривалий вплив дрібнодисперсних частинок також асоціюється з розвитком цукрового діабету, нейродегенеративних захворювань, порушень репродуктивної функції [41].

Чадний газ (CO)

Не менш небезпечним компонентом є чадний газ (CO), який утворюється в умовах неповного спалювання біомаси та сміття [38]. Його концентрація поблизу вогнищ горіння може у разі перевищувати допустимі межі. CO порушує здатність гемоглобіну транспортувати кисень, що призводить до кисневого голодування тканин, головного болю, загальної слабкості, а за тривалого впливу – до пошкодження центральної нервової системи [8].

При гострому отруєнні чадним газом людина може відчувати запаморочення, нудоту, блювання, втрату координації, а в тяжких випадках – втрату свідомості та смерть [8]. Особливо небезпечним є те, що чадний газ не має кольору та запаху, тому люди можуть не усвідомлювати небезпеки до появи серйозних симптомів. Хронічний вплив навіть низьких концентрацій чадного газу може призводити до проблем з пам'яттю, концентрацією уваги, депресії.

Оксиди азоту та сірки

Пожежі також спричиняють значні викиди оксидів азоту (NO_x) та діоксиду сірки (SO_2) - газів, які в реакції з атмосферною вологою утворюють кислотні дощі [11]. Вони провокують корозію будівель, зниження родючості ґрунтів, деградацію рослинності та підкислення водойм. Особливу небезпеку становить їх здатність брати участь у фотохімічних реакціях, що сприяють утворенню приземного озону, шкідливого для органів дихання [39].

Кислотні опади, що утворюються внаслідок викидів оксидів азоту та сірки, можуть випадати на відстані сотень кілометрів від джерела забруднення [11]. Вони закислюють ґрунти, що призводить до вимивання поживних речовин та важких металів, які потім потрапляють у водойми. Підкислення водних екосистем призводить до загибелі риби та інших водних організмів. Кислотні дощі також пошкоджують рослинність, особливо хвойні дерева, викликаючи пожовтіння та опадання хвої, ослаблення дерев, що робить їх вразливими до хвороб та шкідників.

Діоксини та фурани

При спалюванні побутових відходів, особливо пластику, у повітря потрапляють леткі органічні сполуки (ЛОС), формальдегід, феноли, фурани та діоксини – одні з найбільш токсичних речовин у природі [26, 38]. Накопичуючись у жирових тканинах живих організмів і потрапляючи в харчові ланцюги, діоксини здатні викликати онкологічні, ендокринні та репродуктивні порушення. За даними медиків, в період активних весняних і осінніх підпалів рівень забруднення повітря в сільській та приміській місцевості може перевищувати допустимі норми у 5-10 разів [25].

Діоксини належать до групи стійких органічних забруднювачів (СОЗ), які характеризуються надзвичайно високою токсичністю, здатністю накопичуватися в організмах та тривалим періодом існування в навколишньому середовищі [26]. Вони можуть зберігатися в ґрунті десятиліттями, продовжуючи чинити токсичний вплив. Діоксини потрапляють в організм людини переважно з їжею, особливо з продуктами тваринного походження, оскільки накопичуються в жирових тканинах тварин. Навіть мінімальні дози діоксинів можуть викликати порушення імунної системи, гормональні збої, проблеми з репродуктивною функцією, вади розвитку плода, онкологічні захворювання.

Важкі метали

При спалюванні відходів, що містять батарейки, електронні прилади, пофарбовані матеріали, у повітря потрапляють важкі метали, такі як свинець,

кадмій, ртуть, цинк [26]. Ці речовини є токсичними навіть у невеликих концентраціях і можуть накопичуватися в організмі, викликаючи хронічні отруєння. Свинець впливає на нервову систему, особливо небезпечний для дітей, оскільки може призводити до порушень розвитку мозку, зниження інтелекту, проблем з поведінкою [8]. Кадмій накопичується в нирках і може викликати їх ураження, а також підвищує ризик раку. Ртуть впливає на нервову систему, може викликати неврологічні порушення, проблеми з пам'яттю та координацією.

Вплив на екосистеми

Пожежі на полях і сміттєзвалищах завдають значної шкоди екосистемам [12]. Вогонь руйнує родючий шар ґрунту, знищує мікроорганізми, насіння рослин і комах, порушуючи природний баланс. Це спричиняє зниження врожайності, погіршення структури ґрунтів і підвищення ризику ерозії [6]. У лісових та степових районах пожежі призводять до загибелі птахів, дрібних ссавців, плазунів та інших видів тваринного світу. Втрата рослинності порушує кругообіг вуглецю і води, а також збільшує обсяг парникових газів, посилюючи ефект глобального потепління [44].

Високі температури при спалюванні знищують ґрунтові мікроорганізми, що відіграють ключову роль у кругообігу поживних речовин [6]. Загибають бактерії, що фіксують азот, гриби, що утворюють мікоризу з коренями рослин, дощові черв'яки, що покращують структуру ґрунту. Без цих організмів ґрунт втрачає родючість, стає щільнішим, гірше утримує вологу. Відновлення нормального функціонування ґрунтової екосистеми після пожежі може тривати кілька років.

Економічні наслідки

Серйозних втрат зазнає економіка та інфраструктура [13, 29]. Руйнуються сільськогосподарські угіддя, лісові масиви, лінії електропередач, газопроводи та житлові будівлі. Щороку витрати на ліквідацію таких пожеж досягають сотень мільйонів гривень. У деяких випадках полум'я створює загрозу для об'єктів

критичної інфраструктури, а продукти горіння осідають у населених пунктах, викликаючи смог і погіршуючи видимість на дорогах.

Втрати сільського господарства включають не лише знищення посівів та сільськогосподарської техніки, а й довготривале зниження продуктивності земель після пожеж [6]. Ліси, що згоріли, втрачають не лише деревину, а й екосистемні послуги, які вони надавали: очищення повітря, регулювання водного режиму, збереження біорізноманіття. Повна економічна оцінка цих втрат часто в десятки разів перевищує вартість знищеної деревини.

Соціальні наслідки

Окрім впливу на екологію та економіку, спалювання сміття і рослинних залишків також має соціальні наслідки [36, 40]. У періоди масових підпалів суттєво зростає кількість звернень до медичних закладів через симптоми отруєння димом, загострення захворювань дихальної системи та алергічні реакції. Особливу вразливість у таких ситуаціях демонструють діти, літні люди і ті, хто страждає на хронічні недуги.

Діти є особливо вразливими до впливу забруднення повітря, оскільки їхні організми ще розвиваються [41]. Вдихання диму може призводити до затримки розвитку легень, збільшення частоти респіраторних інфекцій, розвитку астми. У школах, розташованих поблизу джерел забруднення, діти можуть відчувати труднощі з концентрацією уваги, що негативно впливає на їхню успішність. Літні люди та особи з хронічними захворюваннями легень чи серця мають підвищений ризик загострення своїх захворювань під час періодів сильного забруднення повітря.

Отже, пожежі, спричинені спалюванням сміття і залишків рослинності, є наслідком низького рівня екологічної свідомості населення, недостатнього державного контролю, змін клімату та неефективної системи управління відходами [24, 34].

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт та предмет досліджень

Об'єктом дослідження є атмосферне повітря в зонах спалювання побутових відходів та рослинних залишків на території України [3, 25]. Атмосферне повітря як об'єкт дослідження розглядається в контексті його фізико-хімічних властивостей, якісного та кількісного складу забруднювальних речовин, просторово-часового розподілу концентрацій забруднювачів та їх впливу на довкілля і здоров'я населення.

Предметом дослідження є забруднювальні речовини, що утворюються при спалюванні побутових відходів та сухої рослинності, механізми їх утворення, розсіювання в атмосфері та вплив на стан атмосферного повітря [38, 43]. До предмета дослідження належать газоподібні сполуки (діоксид вуглецю, чадний газ, оксиди азоту та сірки, метан), тверді частинки різних фракцій (PM_{2.5} та PM₁₀),

токсичні органічні сполуки (леткі органічні речовини, формальдегід, бензапірен), надзвичайно токсичні речовини (діоксини, фурани) та важкі метали [26].

Дослідження охоплює різні типи джерел забруднення атмосферного повітря [6, 7, 27]. До них належать неконтрольоване спалювання сухої рослинності на присадибних ділянках, полях, узліссях; спалювання побутових відходів на приватних територіях та несанкціонованих сміттєзвалищах; лісові пожежі в соснових та мішаних лісах; торф'яні пожежі на осушених торфовищах; сільськогосподарські пожежі при спалюванні стерні після збору врожаю; степові пожежі на природних та антропогенно порушених територіях.

2.2. Географічна характеристика районів досліджень

Територіально дослідження охоплює різні природно-кліматичні зони України з урахуванням їх специфіки щодо виникнення пожеж та спалювання відходів [13, 23].

Південний регіон представлений Херсонською, Запорізькою, Миколаївською та Дніпропетровською областями [13]. Цей регіон характеризується помірно континентальним сухим кліматом з жарким літом та м'якою малосніжною зимою. Середньорічна температура повітря становить +9...+11°C, влітку досягає +22...+24°C. Річна кількість опадів складає 350-450 мм, що є недостатнім для повного забезпечення вологою рослинності. Велика частина опадів випадає влітку у вигляді короткочасних злив, тоді як весна часто є посушливою.

Рельєф південного регіону переважно рівнинний з невеликими підвищеннями та балками. Ґрунти представлені чорноземами звичайними та південними, каштановими ґрунтами. Рослинність природна степова, яка в більшості місць замінена сільськогосподарськими культурами. Залишки природних степів

зберігаються на схилах балок, заповідних територіях, непридатних для обробітку землях. Саме ці ділянки з сухою степовою рослинністю є найбільш пожежонебезпечними [12].

Пожежна небезпека в південному регіоні є найвищою в Україні через поєднання кількох факторів: тривалі періоди без опадів навесні та влітку, високі температури повітря (до $+35...+40^{\circ}\text{C}$), низька відносна вологість повітря (30-40%), сильні східні та північно-східні вітри, великі площі сухої рослинності [3]. Найбільш пожежонебезпечний період триває з березня по жовтень з піками в квітні-травні та серпні-вересні.

Центральний регіон включає Вінницьку, Кіровоградську, Черкаську, Полтавську області [20]. Клімат помірно континентальний з теплим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура $+7...+9^{\circ}\text{C}$, влітку $+18...+20^{\circ}\text{C}$. Річна кількість опадів 450-550 мм, розподілені більш рівномірно протягом року порівняно з південним регіоном.

Рельєф хвилястий з невеликими височинами, балками, долинами річок. Ґрунти представлені чорноземами типовими та опідзоленими, сірими лісовими ґрунтами. Це найродючіші ґрунти України, тому регіон має найвищу розораність території – до 70-80%. Природна рослинність лучно-степова та лісостепова, але майже повністю замінена агроценозами [6].

Пожежна небезпека в центральному регіоні пов'язана переважно зі спалюванням стерні після збору врожаю та сухої трави навесні [27]. Найбільш пожежонебезпечний період – квітень-травень та серпень-вересень. Особливістю регіону є велика кількість випадків навмисного підпалювання стерні фермерами, що призводить до масштабних пожеж на сільськогосподарських угіддях.

Північний регіон (Полісся) охоплює Житомирську, Київську, Чернігівську, Рівненську, Волинську області [9, 17]. Клімат помірно континентальний вологий з м'яким літом та помірно холодною зимою. Середньорічна температура $+6...+8^{\circ}\text{C}$,

влітку +17...+19°C. Річна кількість опадів 550-700 мм, що є найвищим показником в Україні. Опади розподілені рівномірно, проте можливі посушливі періоди навесні.

Рельєф рівнинний, місцями заболочений. Характерні піщані та супіщані ґрунти, дерново-підзолисті ґрунти, торф'яні ґрунти на болотах. Значна частина території вкрита лісами – соснові, мішані хвойно-широколистяні, вільхові ліси по заплавах річок. Лісистість території досягає 30-40%, що є найвищим показником в Україні [9].

Пожежна небезпека в північному регіоні має специфічний характер [9, 17]. Основну загрозу становлять лісові пожежі в соснових борах, де підстилка з хвої та сухої трави легко займається. Особливо небезпечні торф'яні пожежі на осушених болотах та торфорозробках. Торф може горіти на глибині до 2 метрів, пожежі важко виявити та гасити, вони можуть тліти місяцями [17]. Найбільш пожежонебезпечний період – квітень-травень та липень-серпень, особливо після тривалих періодів без дощів.

Західний регіон представлений Львівською, Івано-Франківською, Закарпатською, Тернопільською, Хмельницькою областями [3]. Клімат помірно континентальний, в Закарпатті має риси м'якого континентального з впливом середземноморського. Середньорічна температура +7...+9°C, влітку +17...+19°C. Річна кількість опадів 600-900 мм, в гірських районах Карпат до 1200-1500 мм.

Рельєф різноманітний – від рівнинних територій на заході до гірських масивів Карпат. Ґрунти дерново-підзолисті, сірі та темно-сірі лісові, бурі гірсько-лісові. Рослинність представлена широколистяними та мішаними лісами, в горах – хвойні ліси, субальпійські та альпійські луки [10].

Пожежна небезпека в західному регіоні є нижчою порівняно з іншими регіонами через більш вологий клімат [3]. Однак і тут фіксуються випадки лісових пожеж, особливо в Карпатах при тривалих посушливих періодах. Основна проблема – спалювання побутових відходів та рослинних залишків у сільській місцевості через недостатній розвиток інфраструктури управління відходами [34].

2.3. Умови проведення досліджень

Дослідження проводились протягом 2023-2025 років у весняно-осінній період, коли фіксується найбільша кількість випадків спалювання відходів [3]. Часові рамки досліджень охоплювали пікові періоди пожежної активності: березень-квітень та вересень-жовтень.

Метеорологічні умови відіграють ключову роль у виникненні та поширенні пожеж, а також у формуванні рівнів забруднення атмосферного повітря [45]. Весняний період (березень-квітень) характеризується нестабільними погодними умовами з періодами потепління та похолодання. Середня температура повітря в березні становить $+2...+6^{\circ}\text{C}$, в квітні $+8...+12^{\circ}\text{C}$. Опадів випадає мало – 30-50 мм на місяць. Відносна вологість повітря знижується до 50-60%. Швидкість вітру часто перевищує 5-8 м/с, переважають східні та південно-східні вітри.

Такі умови створюють високу пожежну небезпеку [43]. Суха минулорічна рослинність швидко висихає після танення снігу, низька вологість повітря та вітер сприяють швидкому поширенню вогню. Навіть невелика іскра або недопалок сигарети можуть призвести до масштабної пожежі. При швидкості вітру 8-10 м/с вогонь може поширюватися зі швидкістю до 5-8 м/с, охоплюючи за годину десятки гектарів території.

Літній період (червень-серпень) характеризується високими температурами та періодичними посухами [13]. Середня температура липня $+20...+24^{\circ}\text{C}$, можливі екстремально спекотні дні з температурою $+35...+40^{\circ}\text{C}$. У південних регіонах можливі тривалі періоди без опадів – до 30-40 днів. Відносна вологість повітря знижується до 30-40%. Це створює екстремальну пожежну небезпеку, особливо в степових районах.

Осінній період (вересень-жовтень) є другим піком пожежної активності [3]. Середня температура вересня $+14...+18^{\circ}\text{C}$, жовтня $+8...+12^{\circ}\text{C}$. Опадів випадає 40-60

мм на місяць, але можливі тривалі сухі періоди. Листя з дерев опадає та висихає, накопичується суха трава після літа, залишається стерня на полях після збору врожаю. Населення активно прибирає присадибні ділянки, часто вдаючись до спалювання зібраного листя та гілок.

Стан атмосферного повітря в різних регіонах України суттєво відрізняється залежно від рівня промислового розвитку, транспортного навантаження, кліматичних умов [25]. У великих промислових містах (Київ, Харків, Дніпро, Запоріжжя, Кривий Ріг) фоновий рівень забруднення повітря вже підвищений через викиди промислових підприємств і транспорту. Концентрації діоксиду азоту становлять 0,04-0,08 мг/м³ (при нормі 0,04 мг/м³), твердих частинок PM_{2.5} – 25-50 мкг/м³ (при нормі 25 мкг/м³), діоксиду сірки – 0,02-0,05 мг/м³ (при нормі 0,05 мг/м³) [25].

У сільській місцевості та невеликих містах фоновий рівень забруднення є нижчим [25]. Концентрації основних забруднювачів знаходяться в межах або нижче гранично допустимих концентрацій. Однак у періоди масового спалювання відходів рівень забруднення може різко зростати, перевищуючи показники промислових міст. Особливо це стосується концентрацій твердих частинок та чадного газу, які можуть перевищувати норми у 5-10 разів [8].

Соціально-економічні умови також впливають на масштаби проблеми спалювання відходів [34]. У сільській місцевості, де відсутні організовані системи збору та вивезення відходів, населення змушене самотійно вирішувати проблему накопичених відходів. За даними соціологічних опитувань, близько 30-40% сільських домогосподарств періодично спалюють побутові відходи через відсутність альтернатив [33, 34].

Рівень екологічної свідомості населення залишається недостатнім [33]. Багато людей не усвідомлюють серйозності наслідків спалювання, вважають це звичайною практикою. Екологічна освіта в школах та інформаційні кампанії в ЗМІ поки що не досягли достатнього охоплення, особливо в сільській місцевості.

2.4. Характеристика джерел забруднення атмосферного повітря

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря при спалюванні є різні типи матеріалів, кожен з яких має специфічні характеристики горіння та склад утворюваних викидів [38, 43].

Суша рослинність включає траву, листя, гілки, стерню після збору врожаю [6]. Хімічний склад сухої рослинності представлений переважно целюлозою (40-50%), геміцелюлозою (20-30%), лігніном (10-25%), мінеральними речовинами (5-10%). Вологість сухої рослинності становить 10-20% від загальної маси. Теплота згоряння сухої біомаси складає 15-18 МДж/кг, що є порівняно невисоким показником [38].

При згорянні сухої рослинності утворюються переважно продукти повного та неповного окиснення вуглецю й азоту [43]. Повне згоряння в умовах достатнього доступу кисню призводить до утворення діоксиду вуглецю та води. Неповне згоряння, що відбувається при недостатньому доступі кисню або низькій температурі, призводить до утворення чадного газу, метану, летких органічних сполук. Азот, що міститься в біомасі, окиснюється до оксидів азоту. Мінеральні речовини утворюють попіл та дрібнодисперсні тверді частинки [38].

Побутові відходи мають дуже неоднорідний склад, що ускладнює прогнозування складу викидів [26, 34]. Типовий склад змішаних побутових відходів в Україні включає органічні відходи (харчові рештки, папір, картон) – 40-50%, пластик різних типів – 10-15%, скло – 8-12%, метал – 3-5%, текстиль – 3-5%, деревину – 2-4%, інші компоненти – 10-20%. Вологість побутових відходів становить 40-60%, що знижує ефективність горіння [34].

Особливу небезпеку становить спалювання пластику, який присутній практично в усіх побутових відходах [26]. Найпоширеніші типи пластику включають поліетилен (пакети, плівка), поліпропілен (упаковка, контейнери), полістирол (одноразовий посуд, пінопласт), полівінілхлорид (труби, лінолеум,

оконні рами), поліетилентерефталат (пластикові пляшки). При згорянні цих матеріалів утворюються різні токсичні речовини [38].

Полівінілхлорид (ПВХ) є найнебезпечнішим з точки зору утворення токсичних викидів [26]. При його згорянні виділяється хлористий водень (HCl), який в атмосфері реагує з вологою, утворюючи соляну кислоту. Це призводить до корозії металевих конструкцій, пошкодження рослинності, подразнення дихальних шляхів людей. При температурі 300-600°C, яка часто досягається при спалюванні відходів, з ПВХ утворюються діоксини та фурани – надзвичайно токсичні речовини [26].

Деревина та деревні матеріали часто присутні в побутових відходах у вигляді старих меблів, дощок, оброблених деревних виробів [38]. Необроблена деревина при згорянні утворює подібні до рослинної біомаси продукти. Однак оброблена деревина (фарбована, лакована, просочена антисептиками) виділяє додаткові токсичні речовини. Фарби та лаки містять важкі метали (свинець, кадмій, хром), органічні розчинники. Антисептики для деревини часто містять мідь, миш'як, хром [26].

Гума та гумові вироби (автомобільні шини, взуття, гумові килимки) при згорянні виділяють великі кількості чорного диму, що містить сажу, оксиди сірки, поліциклічні ароматичні вуглеводні, важкі метали [38]. Автомобільні шини містять сірку (1-2%), цинк (1-2%), інші метали, які при згорянні переходять у повітря у вигляді оксидів або осідають в попелі [26].

Текстиль представлений одягом, тканинами, килимами різного складу [34]. Натуральні тканини (бавовна, льон, вовна) при згорянні утворюють продукти, подібні до рослинної біомаси. Синтетичні тканини (поліестер, нейлон, акрил) при згорянні виділяють токсичні речовини, подібні до продуктів згоряння пластику. Особливу небезпеку становлять фарбовані тканини, які можуть містити важкі метали та інші токсичні сполуки [38].

2.5. Характеристика забруднювальних речовин

Забруднювальні речовини, що утворюються при спалюванні, можна класифікувати за кількома ознаками: за агрегатним станом, за хімічною природою, за токсичністю, за стійкістю в навколишньому середовищі [8, 26].

Газоподібні забруднювачі становлять основну масу викидів за об'ємом [38]. Діоксид вуглецю (CO_2) є основним продуктом повного згоряння будь-яких органічних матеріалів. Хоча він не є токсичним для людини при звичайних концентраціях в атмосфері, його значні викиди сприяють посиленню парникового ефекту та глобальному потеплінню [44]. Гранично допустима концентрація CO_2 в атмосферному повітрі населених пунктів не встановлена, оскільки він є природним компонентом повітря [8].

Чадний газ (CO) утворюється при неповному згорянні в умовах недостатнього доступу кисню [38]. Він є токсичним газом без кольору та запаху, що робить його особливо небезпечним. Механізм токсичної дії полягає в утворенні карбоксигемоглобіну, що знижує здатність крові транспортувати кисень. Спорідненість чадного газу до гемоглобіну в 200-300 разів вища, ніж у кисню. ГДК середньодобова становить 3 мг/м^3 , максимальна разова – 5 мг/м^3 [8].

Оксиди азоту (NO_x) утворюються при високотемпературному окисненні азоту повітря та азотовмісних сполук в паливі [38]. Основними представниками є монооксид азоту (NO) та діоксид азоту (NO_2). NO є відносно малотоксичним, але швидко окиснюється в атмосфері до NO_2 . Діоксид азоту має різкий подразнюючий запах, викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, при високих концентраціях може призводити до набряку легень. ГДК середньодобова NO_2 становить $0,04 \text{ мг/м}^3$, максимальна разова – $0,2 \text{ мг/м}^3$ [8].

Діоксид сірки (SO_2) утворюється при згорянні сіркомістких матеріалів, зокрема гуми [38]. Має різкий запах, сильно подразнює дихальні шляхи, очі, шкіру.

В атмосфері окиснюється до сірчаної кислоти, сприяє утворенню кислотних дощів. ГДК середньодобова становить $0,05 \text{ мг/м}^3$, максимальна разова – $0,5 \text{ мг/м}^3$ [8].

Тверді частинки (аерозолі) представлені частинками різного розміру та хімічного складу [41]. За розміром розрізняють грубодисперсні частинки (PM_{10} з діаметром до 10 мкм), дрібнодисперсні частинки ($\text{PM}_{2.5}$ з діаметром до 2,5 мкм) та ультрадрібні частинки ($\text{PM}_{0.1}$ з діаметром до 0,1 мкм). Чим менший розмір частинок, тим глибше вони проникають в дихальні шляхи та тим небезпечніші для здоров'я [36].

Частинки PM_{10} затримуються переважно в носоглотці та верхніх дихальних шляхах, викликаючи подразнення слизових оболонок [41]. Частинки $\text{PM}_{2.5}$ проникають до альвеол легень, можуть потрапляти в кровообіг, викликають системні запальні реакції в організмі, підвищують ризик серцево-судинних захворювань. Ультрадрібні частинки можуть проникати через гематоенцефалічний бар'єр в мозок, викликаючи нейротоксичні ефекти [36, 41]. ГДК середньодобова для PM_{10} становить $0,05 \text{ мг/м}^3$, для $\text{PM}_{2.5}$ – $0,025 \text{ мг/м}^3$ [8].

Токсичні органічні сполуки включають широкий спектр речовин різної хімічної структури [26, 38]. Леткі органічні сполуки (ЛОС) – це органічні речовини з температурою кипіння нижче 250°C , які легко випаровуються в атмосферу. До них належать вуглеводні (алкани, алкени, ароматичні сполуки), спирти, альдегіди, кетони, ефіри. Багато ЛОС є токсичними, викликають подразнення слизових оболонок, головний біль, запаморочення [8].

Формальдегід (НСНО) утворюється при неповному згорянні будь-яких органічних матеріалів [38]. Має різкий подразнюючий запах, викликає сльозотечу, печіння в носі та горлі, кашель. При тривалому впливі може викликати алергічні реакції, астму. Віднесений до імовірних канцерогенів для людини. ГДК середньодобова становить $0,003 \text{ мг/м}^3$, максимальна разова – $0,05 \text{ мг/м}^3$ [8].

Бензапірен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) належить до поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) [26]. Утворюється при високотемпературному згорянні органічних

матеріалів, особливо при неповному згорянні. Є доведеним канцерогеном, викликає рак легень, шкіри, інших органів при тривалому впливі. Накопичується в організмі, має тривалий період напіврозпаду. ГДК середньодобова становить $0,000001 \text{ мг/м}^3$ [8].

Діоксини та фурани є найтоксичнішими речовинами, що утворюються при спалюванні відходів [26]. Хімічна структура діоксинів включає два бензольних кільця, з'єднаних двома атомами кисню, та від одного до восьми атомів хлору. Існує 75 різних сполук діоксинів (полівинілхлордибензо-п-діоксинів) та 135 сполук фуранів (полівинілхлордибензофуранів). Найтоксичнішим є 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-діоксин (TCDD) [26].

Діоксини утворюються при температурі $300-600^\circ\text{C}$ в присутності хлору, який міститься в ПВХ та інших хлорвмісних матеріалах [26]. Вони надзвичайно стійкі в навколишньому середовищі, період напіврозпаду в ґрунті становить 10-12 років. В організмі людини період напіврозпаду TCDD становить 7-11 років. Діоксини накопичуються в жирових тканинах, біомагніфікуються по харчових ланцюгах [26].

Токсичні ефекти діоксинів включають канцерогенну, мутагенну, тератогенну дію [26]. Вони порушують роботу імунної системи, викликають хлоракне (важке ураження шкіри), порушують роботу ендокринної системи (діють як гормональні дезруптори), впливають на репродуктивну функцію, викликають вади розвитку плода. TCDD віднесений Міжнародним агентством з вивчення раку до доведених канцерогенів для людини (група 1) [26]. ГДК для діоксинів встановлена на рівні $0,000000001 \text{ мг/м}^3$ [8].

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методи збору та аналізу інформації

Дослідження базувалось на комплексному підході, що поєднував аналіз літературних джерел, статистичних даних, нормативно-правової документації та розрахунково-аналітичні методи [13, 21].

Аналіз літературних джерел

Систематичний аналіз наукової літератури проводився з метою вивчення сучасного стану проблеми спалювання відходів у світі та в Україні, виявлення основних тенденцій, узагальнення досвіду різних країн у вирішенні цієї проблеми [5, 11, 36]. Опрацьовувались наукові статті у фахових виданнях, монографії, дисертації, матеріали конференцій, звіти міжнародних організацій (ООН, ВООЗ, Європейське агентство з довкілля) за період 2015-2025 років.

Пошук літератури здійснювався у наукометричних базах даних Google Scholar, ResearchGate, офіційних сайтах міжнародних організацій, електронних бібліотеках українських університетів. Використовувались ключові слова: "спалювання відходів", "забруднення атмосферного повітря", "пожежі", "викиди

забруднювальних речовин", "діоксини", "екологічні наслідки" українською, англійською та російською мовами [1, 5].

Критеріями відбору джерел були: наукова обґрунтованість, достовірність даних, актуальність інформації, репрезентативність досліджень. Перевага надавалась оригінальним дослідженням перед оглядовими статтями, рецензованим публікаціям перед нереконзованими, українським та міжнародним джерелам перед російськими [10]. Усього опрацьовано понад 45 літературних джерел.

Аналіз статистичних даних

Збір та аналіз статистичних даних про пожежну ситуацію в Україні здійснювався на основі офіційних звітів Державної служби України з надзвичайних ситуацій [3]. Аналізувались дані за 2023-2025 роки про:

- кількість пожеж загалом та в природних екосистемах зокрема;
- площі територій, охоплених пожежами;
- кількість загиблих та травмованих осіб;
- матеріальні збитки;
- регіональний розподіл пожеж;
- сезонну динаміку пожеж;
- основні причини виникнення пожеж.

Дані отримувались з офіційних веб-сайтів ДСНС, щомісячних та щорічних звітів, прес-релізів. Проводилась систематизація даних у табличній формі, побудова графіків динаміки показників, виявлення тенденцій та закономірностей [13].

Додатково аналізувались дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України про стан атмосферного повітря, викиди забруднювальних речовин, екологічні наслідки пожеж [23, 25]. Використовувались матеріали

Державної служби статистики України про обсяги утворення та поводження з відходами [34].

Аналіз нормативно-правової документації

Вивчалась чинна нормативно-правова база України у сфері охорони атмосферного повітря, поводження з відходами, пожежної безпеки [16, 27, 31].

Аналізувались:

- Закон України "Про охорону атмосферного повітря";
- Закон України "Про відходи";
- Кодекс цивільного захисту України;
- Постанови Кабінету Міністрів України;
- Державні санітарні норми та правила;
- Методичні рекомендації та інструкції.

Порівнювались вимоги українського законодавства з європейськими директивами (Директива 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря, Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди) [39]. Виявлялись прогалини в законодавстві та невідповідності європейським стандартам.

3.2. Розрахункові методи визначення обсягів викидів

Оскільки прямі інструментальні виміри концентрацій забруднювальних речовин під час спалювання відходів є технічно складними та небезпечними, обсяги викидів визначались розрахунковим методом на основі коефіцієнтів емісії [21, 38, 43].

Метод коефіцієнтів емісії

Коефіцієнт емісії – це кількість забруднювальної речовини, що викидається в атмосферу при спалюванні одиниці маси матеріалу [43]. Коефіцієнти емісії визначаються експериментально різними дослідниками, узагальнюються в довідкових виданнях та методичних документах. Для даного дослідження

використовувались коефіцієнти емісії з наукових публікацій та методичних документів [21, 38, 43].

Загальна маса викиду розраховувалась за формулою:

$$M_i = m \times E_i,$$

де M_i – маса викиду i -ої речовини, кг; m – маса спаленого матеріалу, т; E_i – коефіцієнт емісії i -ої речовини, кг/т [21].

Для рослинних залишків використовувались коефіцієнти: CO_2 – 1600 кг/т, CO – 90 кг/т, NO_x – 3 кг/т, PM – 8 кг/т [43]. Для побутових відходів: CO_2 – 1800 кг/т, CO – 150 кг/т, NO_x – 5 кг/т, PM – 15 кг/т, діоксини – 0,00005 кг/т, важкі метали – 2 кг/т [26, 38].

Визначення маси спаленого матеріалу

Маса спаленого матеріалу розраховувалась на основі площі пожеж та питомої маси рослинності:

$$m = S \times \rho,$$

де m – маса спаленої рослинності, т; S – площа пожежі, га; ρ – питома маса рослинності, т/га [13].

Площі пожеж брались зі статистичних даних ДСНС [3]. Питома маса рослинності приймалась: для сухої трави – 0,7 т/га, для листя – 1,5 т/га, для стерні – 2,5 т/га, для лісової підстилки – 4 т/га [6, 9, 15].

3.3. Методика розрахунку економічних збитків

Економічні збитки від забруднення атмосферного повітря розраховувались за чинною Методикою розрахунку розмірів відшкодування збитків [29]:

$$A_{\text{ф}} = \Sigma(M_i \times \Pi \times A_i \times K_{\text{т}} \times K_{\text{з}}),$$

де $A_{\text{ф}}$ – збитки, грн; M_i – маса викиду, т; Π – базова ставка (10000 грн/т); A_i – показник небезпечності речовини; $K_{\text{т}}$ – коефіцієнт території; $K_{\text{з}}$ – коефіцієнт забруднення [29].

Показник небезпечності розраховувався: $A_i = 1/\Gamma ДК_i$ [8, 29]. Коефіцієнт території: для сільської місцевості $K_T = 1,0$, для міст $K_T = 1,25$, для рекреаційних зон $K_T = 1,65$ [29].

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ СПАЛЮВАННЯ СМІТТЯ ТА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ НА ДОВКІЛЛЯ

4.1. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря при спалюванні відходів

Спалювання побутових відходів та рослинних залишків є одним із найпоширеніших, але водночас найнебезпечніших видів діяльності людини, що спричиняє значне забруднення довкілля [5, 33]. Незважаючи на законодавчі обмеження [27, 31], така практика все ще поширена, особливо у сільській місцевості. Під час спалювання у навколишнє середовище виділяється велика кількість токсичних речовин, вплив яких поширюється не лише на атмосферу, але й на всі компоненти екосистеми [12, 36].

Вплив на рослинність та фітоценози

Рослинність зазнає значних втрат внаслідок спалювання як через прямий термічний вплив, так і через токсичний ефект продуктів горіння [6, 12]. Полум'я напряду знищує наземні частини рослин, ушкоджує насіння, мікоризу та кореневу систему. Температура при горінні сухої трави може досягати 400-600°C, що є летальною для більшості рослинних організмів. Особливо вразливі до вогню молоді

пагони, трав'янисті рослини, лісова підстилка та посіви на полях. Після пожежі спостерігається зменшення щільності рослинного покриву на 40-70%, уповільнення процесу фотосинтезу та зниження темпів відновлення фітоценозів [12].

Продукти горіння осідають на листках рослин у вигляді сажі та інших твердих частинок, що гальмують фотосинтез [38]. Покриття листової поверхні частинками зменшує проникнення світла, необхідного для фотосинтезу, а також закриває пори, через які відбувається газообмін. Це призводить до зниження продуктивності рослин, їх ослаблення та підвищеної вразливості до хвороб і шкідників. Під дією діоксиду сірки та оксидів азоту утворюються кислотні опади, що знижують рН ґрунту і порушують мінеральний обмін рослин [11]. Закислення ґрунту призводить до зниження доступності поживних речовин, особливо фосфору та молібдену, та підвищення розчинності токсичних алюмінію та марганцю.

Регулярні підпали трави змінюють видову структуру фітоценозів [12]. Зникають типові степові або лучні види, які не встигають відновитися після пожежі або не витримують конкуренції з пірогенними видами. Натомість поширюються пірогенні види, стійкі до вогню, такі як пирій повзучий, осот рожевий, молочай. Ці види мають глибоку кореневу систему, яка виживає при пожежі, або здатні швидко заселяти порушені території завдяки ефективному насінному розмноженню. Це призводить до зменшення біорізноманіття та деградації природних екосистем. У степових екосистемах України, які вже зазнали значного антропогенного впливу, щорічні пожежі прискорюють процеси деградації та знищують залишки природної степової рослинності [12].

Високі температури при спалюванні листя або стерні знищують ґрунтові мікроорганізми, дощових черв'яків та інші компоненти, які забезпечують утворення гумусу [6]. В перші десять сантиметрів ґрунту, де зосереджена основна маса мікроорганізмів, температура може підвищуватися до 100-150°C, що призводить до загибелі до 90% мікробіоти. Загибають бактерії, що фіксують атмосферний азот, гриби-симбіонти, що утворюють мікоризу з коренями рослин, целюлозоруйнівні

мікроорганізми, що розкладають рослинні рештки. Ґрунт втрачає структуру, ущільнюється і стає менш родючим, що негативно позначається на рості нових рослин. Відновлення нормальної мікробіологічної активності ґрунту після пожежі може тривати від одного до трьох років [6].

Вплив на тваринний світ та фауністичні комплекси

Пожежі призводять до загибелі дрібних ссавців, птахів, амфібій, плазунів та комах, які не встигають залишити місце займання [12]. Особливо вразливими є їжаки, зайці, жаби, польові миші, перепілки, жайворонки. Швидкість поширення вогню по сухій траві може досягати 5-10 м/с при сильному вітрі, що не залишає шансів на порятунок повільним тваринам. Наземногніздові птахи втрачають кладки яєць та пташенят. Комахи, що зимують у сухій траві або лісовій підстилці, повністю знищуються. За оцінками екологів, під час однієї пожежі площею 100 гектарів може загинути до 500 дрібних ссавців, близько 50 птахів, тисячі амфібій та плазунів, мільйони комах [12].

Вогонь знищує гнізда, кормові ресурси та укриття, що змушує тварин мігрувати або призводить до їх загибелі через стрес і виснаження [40]. Після пожежі територія стає непридатною для життя тварин протягом тривалого часу. Відсутність рослинного покриву позбавляє травоядних тварин кормової бази, а хижаків – об'єктів полювання. Відсутність укриттів робить тварин вразливими до хижаків та несприятливих погодних умов. Птахи втрачають місця для гніздування. Це призводить до міграції тварин на суміжні території, де вони стикаються з конкуренцією з боку місцевих популяцій за обмежені ресурси.

Хімічні сполуки, що утворюються при спалюванні сміття, особливо діоксини та важкі метали, потрапляють у харчовий ланцюг [26, 40]. Тварини накопичують ці токсиканти у тканинах, що призводить до порушення репродуктивної функції, мутацій та зниження імунітету. Діоксини, маючи високу ліпофільність, накопичуються в жирових тканинах і можуть досягати концентрацій, у тисячі разів вищих, ніж у навколишньому середовищі. Це явище біомагніфікації призводить до

того, що хижаки, що знаходяться на вершині харчового ланцюга, отримують найбільші дози токсинів [26].

У водних екосистемах токсичні речовини з диму потрапляють у водойми під час дощів, спричиняючи масову загибель риби та безхребетних [12]. Під час дощів токсичні речовини зі спалених ділянок змиваються у водойми, викликаючи забруднення води. Особливо небезпечні перші дощі після пожежі, коли змивається найбільша кількість забруднювачів. При концентрації діоксину навіть на рівні 0,001 мкг/л відбувається загибель до 90% личинок риби [26]. У водоймах накопичуються важкі метали, особливо в донних відкладах, що створює довготривале джерело забруднення навіть після припинення надходження токсикантів ззовні.

Вплив на атмосферне повітря

Атмосфера є головним приймачем викидів від спалювання [15, 25]. У районах активного спалювання концентрації дрібнодисперсних частинок $PM_{2.5}$ перевищують гранично допустимі норми у три-вісім разів, а вміст чадного газу та діоксиду азоту – у два-три рази [8]. Це призводить до формування локальних зон задимлення, погіршення якості повітря і зниження видимості. За результатами моніторингу якості повітря в населених пунктах, розташованих поблизу великих пожеж, фіксувались наступні концентрації забруднювачів: $PM_{2.5}$ – 150-350 мкг/м³ при нормі 25 мкг/м³, чадний газ – 15-30 мг/м³ при нормі 5 мг/м³, діоксид азоту – 0,3-0,6 мг/м³ при нормі 0,2 мг/м³ [25].

Узагальнені дані щодо концентрацій основних забруднювальних речовин у повітрі під час активного спалювання наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Концентрації забруднювальних речовин у повітрі під час спалювання

Забруднювальна речовина	ГДК середньодобова, мг/м³	Фактична концентрація, мг/м³	Перевищення ГДК, разів
Тверді частинки $PM_{2.5}$	0,025	0,075-0,200	3-8
Тверді частинки PM_{10}	0,050	0,100-0,250	2-5
Чадний газ (CO)	3,0	6-9	2-3
Діоксид азоту (NO ₂)	0,04	0,08-0,12	2-3
Діоксид сірки (SO ₂)	0,05	0,05-0,15	1-3

Формальдегід (НСНО)	0,003	0,009-0,015	3-5
---------------------	-------	-------------	-----

Примітка: Дані отримано на основі літературних джерел [8, 25, 38] для населених пунктів під час активного спалювання відходів.

За оцінками Європейського агентства з довкілля, до 30% забруднення повітря у сільських регіонах Європи спричинено саме спалюванням рослинних залишків [39]. В Україні, за даними ДСНС, лише за один сезон фіксується понад сорок тисяч випадків пожеж у природних екосистемах, більшість із яких мають антропогенне походження [3]. Найбільше випадків спалювання припадає на весняний період (березень-квітень), коли реєструється до 50% річної кількості пожеж, та осінній період (вересень-жовтень), коли відбувається ще близько 30% пожеж [13].

Дим від пожеж може поширюватися на значні відстані від джерела, впливаючи на якість повітря в населених пунктах, віддалених на десятки кілометрів [40, 41]. При несприятливих метеорологічних умовах, зокрема при слабкому вітрі та температурній інверсії, коли холодне повітря знаходиться внизу під шаром теплого повітря, забруднювачі накопичуються в приземному шарі атмосфери. Це створює особливо небезпечні ситуації в населених пунктах, розташованих у низинах або котловинах, де повітря застоюється [25].

Вплив на здоров'я населення

Погіршення якості довкілля безпосередньо впливає на життя населення [36, 40]. Дослідження Всесвітньої організації охорони здоров'я показують, що спалювання відходів підвищує ризик хвороб органів дихання на 20-30%, а у дітей викликає астму, алергії та зниження імунітету [36]. У періоди масових підпалів суттєво зростає кількість звернень до медичних закладів через симптоми отруєння димом та загострення хронічних захворювань. За даними медичної статистики, в регіонах з високою інтенсивністю спалювання відходів кількість звернень з приводу респіраторних захворювань зростає на 40-60% під час пікових періодів пожеж [41].

Особливо вразливими до впливу забруднення повітря є діти, літні люди та особи з хронічними захворюваннями [36, 41]. Діти мають вищу частоту дихання порівняно з дорослими, тому вдихають більшу кількість забруднювачів на одиницю маси тіла. Їхні дихальні шляхи ще розвиваються і є більш чутливими до подразників. У школах, розташованих поблизу джерел забруднення, діти можуть відчувати труднощі з концентрацією уваги, головний біль, втому, що негативно впливає на їхню успішність. Довготривалий вплив забруднення повітря на дітей може призводити до затримки розвитку легень, зниження їх функціональної здатності, що створює ризики для здоров'я протягом усього життя [41].

Літні люди часто мають хронічні захворювання серцево-судинної та дихальної систем, які загострюються під час періодів підвищеного забруднення повітря [40]. У них підвищується ризик інфарктів, інсультів, декомпенсації серцевої недостатності. Смертність серед літніх людей під час епізодів сильного забруднення повітря зростає на 10-20% порівняно зі звичайними періодами. Особи з астмою, хронічним обструктивним захворюванням легень (ХОЗЛ), бронхітом відчують значне погіршення стану, потребують збільшення доз ліків, частіше звертаються за невідкладною медичною допомогою [41].

4.2. Визначення обсягів викидів забруднювальних речовин при спалюванні

На основі статистичних даних ДСНС та застосування методу коефіцієнтів емісії було проведено розрахунок обсягів викидів основних забруднювальних речовин при спалюванні різних видів відходів [3, 21, 43]. Для розрахунків використовувались коефіцієнти емісії, отримані з наукових публікацій та методичних документів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 Коефіцієнти емісії забруднювальних речовин при спалюванні

Забруднювальна речовина	Коефіцієнт емісії, кг/т	
	Рослинні залишки	Побутові відходи
Діоксид вуглецю (CO ₂)	1600	1800
Чадний газ (CO)	90	150
Метан (CH ₄)	6	10
Оксиди азоту (NO _x)	3	5
Діоксид сірки (SO ₂)	0,5	3
Тверді частинки (PM)	8	15
Леткі органічні сполуки	12	25
Діоксини, мг/т	-	50
Важкі метали	-	2

Як видно з таблиці 4.2, коефіцієнти емісії для побутових відходів є вищими порівняно з рослинними залишками через більш складний хімічний склад та наявність синтетичних матеріалів [26, 38, 43].

Викиди при спалюванні сухої рослинності

За сезон в Україні спалюється орієнтовно 500 тисяч тонн сухої рослинності [13]. Ця оцінка базується на даних ДСНС про площі пожеж (близько 600-700 тисяч гектарів щороку) та середній питомій масі сухої рослинності (0,7-0,8 т/га для степових та лугових екосистем) [3, 6].

Застосовуючи коефіцієнти емісії для рослинної біомаси [43], розраховано обсяги викидів:

- Діоксид вуглецю (CO₂): $500\ 000\ \text{т} \times 1,6\ \text{т/т} = 800\ 000\ \text{тонн}$
- Чадний газ (CO): $500\ 000\ \text{т} \times 0,09\ \text{т/т} = 45\ 000\ \text{тонн}$
- Оксиди азоту (NO_x): $500\ 000\ \text{т} \times 0,003\ \text{т/т} = 1\ 500\ \text{тонн}$
- Тверді частинки (PM): $500\ 000\ \text{т} \times 0,008\ \text{т/т} = 4\ 000\ \text{тонн}$
- Метан (CH₄): $500\ 000\ \text{т} \times 0,006\ \text{т/т} = 3\ 000\ \text{тонн}$

Для порівняння масштабів забруднення: 800 тисяч тонн CO₂ еквівалентно річним викидам близько 170 тисяч легкових автомобілів середнього класу [21]. Викиди чадного газу від спалювання рослинності за сезон перевищують викиди всього автомобільного транспорту великого обласного центру за той самий період. Викиди твердих частинок становлять загрозу для здоров'я населення, оскільки

дрібнодисперсні фракції можуть переноситися на відстань десятків кілометрів від місця спалювання [41].

Викиди при спалюванні побутових відходів

За експертними оцінками, щороку в Україні неконтрольовано спалюється близько 100-150 тисяч тонн побутових відходів [34]. Точна оцінка є складною через відсутність систематичного обліку, проте соціологічні опитування показують, що близько 30-40% сільських домогосподарств періодично спалюють побутові відходи через відсутність організованих систем збору сміття [33].

Приймаючи середнє значення 125 тисяч тонн та застосовуючи коефіцієнти емісії для змішаних побутових відходів [26, 38], розраховано обсяги викидів:

- Діоксид вуглецю (CO_2): $125\ 000\ \text{т} \times 1,8\ \text{т/т} = 225\ 000$ тонн
- Чадний газ (CO): $125\ 000\ \text{т} \times 0,15\ \text{т/т} = 18\ 750$ тонн
- Оксиди азоту (NO_x): $125\ 000\ \text{т} \times 0,005\ \text{т/т} = 625$ тонн
- Діоксид сірки (SO_2): $125\ 000\ \text{т} \times 0,003\ \text{т/т} = 375$ тонн
- Тверді частинки (PM): $125\ 000\ \text{т} \times 0,015\ \text{т/т} = 1\ 875$ тонн
- Діоксини та фурани: $125\ 000\ \text{т} \times 0,00005\ \text{кг/т} = 6,25$ кілограма
- Важкі метали: $125\ 000\ \text{т} \times 0,002\ \text{т/т} = 250$ тонн

Особливу увагу привертають викиди високотоксичних речовин [26]. Діоксини у кількості 6,25 кілограма теоретично достатньо для смертельного отруєння кількох мільйонів людей, якби вся ця кількість була рівномірно розподілена. Хоча реальна експозиція є значно нижчою через розсіювання в навколишньому середовищі, навіть мінімальні дози діоксинів можуть викликати серйозні проблеми зі здоров'ям при тривалому впливі. Важкі метали в кількості 250 тонн накопичуються в ґрунтах, водних об'єктах, потрапляють у харчові ланцюги, створюючи довготривале забруднення довкілля [26].

Викиди при лісових та торф'яних пожежах

За даними Міністерства захисту довкілля, у 2022-2023 роках масштабні пожежі спричинили викиди понад 7 мільйонів тонн вуглекислого газу в атмосферу

[23]. Це еквівалентно річним викидам середнього промислового регіону і суттєво впливає на загальний баланс парникових газів в Україні.

Крім діоксиду вуглецю, лісові пожежі призводять до викидів [15]:

- Чадний газ (CO): близько 500 тисяч тонн
- Метан (CH₄): близько 100 тисяч тонн
- Оксиди азоту (NO_x): близько 20 тисяч тонн
- Тверді частинки (PM): близько 150 тисяч тонн

Торф'яні пожежі є особливо небезпечними через високий вміст чадного газу у викидах [17]. При торф'яній пожежі на площі 100 гектарів може згоріти від 5 до 30 тисяч тонн торфу залежно від глибини торфового шару, що призведе до викидів 10-60 тисяч тонн CO₂ та 0,5-3 тисячі тонн чадного газу.

Загальні викиди за рік

Сумарні викиди забруднювальних речовин від усіх видів спалювання в Україні за рік наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Обсяги викидів забруднювальних речовин від спалювання в Україні

Тип спалювання	Обсяг спаленого матеріалу, тис. т	Викиди основних речовин, тис. т			
		CO ₂	CO	NO _x	PM
Суха рослинність	500	800	45	1,5	4,0
Побутові відходи	125	225	18,75	0,625	1,875
Лісові пожежі	4000*	7000	500	20	150
РАЗОМ	-	8025	563,75	22,125	155,875

Примітка: Еквівалент біомаси [3, 13, 21, 43]

Дані таблиці 4.3 свідчать, що найбільший обсяг викидів припадає на лісові пожежі (87% від загальних викидів CO₂), проте спалювання побутових відходів та рослинних залишків також вносить значний внесок у забруднення атмосфери. Особливу тривогу викликають викиди високотоксичних речовин при спалюванні

побутових відходів, зокрема 6-8 кілограмів діоксинів та 250-300 тонн важких металів щороку [13, 21].

4.3. Розрахунок економічних збитків від забруднення атмосферного повітря

Економічні збитки від забруднення атмосферного повітря внаслідок спалювання відходів включають як прямі матеріальні втрати, так і непрямі наслідки для здоров'я населення та стану екосистем [13, 29]. Розрахунки проводились за методикою оцінки збитків від надзвичайних ситуацій з урахуванням обсягів викидів, токсичності речовин та соціально-економічних характеристик територій [29].

Прямі збитки від забруднення атмосферного повітря

Для розрахунку збитків від спалювання рослинних залишків розглянуто типовий сценарій. У районному центрі з населенням 20 тисяч осіб протягом весняного сезону було спалено суху рослинність на загальній площі 500 гектарів. При середній масі сухої трави 0,8 т/га загальна маса спаленої рослинності становила 400 тонн [13].

Викиди забруднювальних речовин при цьому становили: CO₂ – 640 т, CO – 36 т, NO_x – 1,2 т, PM – 3,2 т. При базовій ставці компенсації 10000 грн/т, коефіцієнті території K_т = 1,0 та коефіцієнті забруднення K_з = 1,0, збитки розраховано наступним чином [29]. Показники відносної небезпечності для основних забруднювальних речовин наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. Показники відносної небезпечності забруднювальних речовин для розрахунку економічних збитків

Забруднювальна речовина	ГДК, мг/м ³	Показник відносної небезпечності (А)	Клас небезпеки
Діоксид вуглецю (CO ₂)	3,0*	0,33	4
Чадний газ (CO)	3,0	0,33	4

Діоксид азоту (NO ₂)	0,04	25	2
Діоксид сірки (SO ₂)	0,05	20	3
Тверді частинки PM ₁₀	0,05	20	3
Тверді частинки PM _{2.5}	0,025	40	2
Формальдегід	0,003	333	2
Бензапірен	0,000001	1000000	1
Діоксини	0,000000001	1000000000	1
Важкі метали (Pb, Cd, Hg)	0,0003	3333	1

Розрахунок збитків:

- Від CO₂: $640 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 0,33 \times 1,0 \times 1,0 = 2\,112\,000 \text{ грн}$
- Від CO: $36 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 0,33 \times 1,0 \times 1,0 = 118\,800 \text{ грн}$
- Від NO_x: $1,2 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 25 \times 1,0 \times 1,0 = 300\,000 \text{ грн}$
- Від PM: $3,2 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 40 \times 1,0 \times 1,0 = 1\,280\,000 \text{ грн}$

Загальні збитки: 3 810 800 грн [29].

Екстраполюючи ці дані на всю Україну (500 тисяч тонн спаленої рослинності на рік), загальні збитки від забруднення атмосферного повітря сягають приблизно 4,8 мільярда гривень на рік [13, 29].

Для побутових відходів розрахунки показали значно вищі збитки через утворення високотоксичних речовин [26]. При спалюванні 10 тонн змішаних побутових відходів викиди становлять: діоксини – 0,5 г, важкі метали – 20 кг, CO₂ – 18 т, CO – 1,5 т, NO_x – 0,05 т, PM – 0,15 т.

Показники небезпечності для високотоксичних речовин:

- Діоксини (ОБРВ 0,000000001 мг/м³): $A = 1000000000$
- Важкі метали (ГДК 0,0003 мг/м³): $A = 3333$ [26, 29]

Розрахунок збитків від діоксинів: $0,0000005 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 1000000 \times 1,0 \times 1,0 = 5\,000\,000 \text{ грн}$

Розрахунок збитків від важких металів: $0,02 \text{ т} \times 10000 \text{ грн/т} \times 3333 \times 1,0 \times 1,0 = 666\,600 \text{ грн}$

Збитки від інших речовин: близько 500 000 грн

Загальні збитки від спалювання 10 тонн побутових відходів: близько 6,2 мільйона гривень [29].

Це в 16 разів більше, ніж збитки від спалювання еквівалентної маси рослинних залишків, що відображає значно вищу токсичність викидів при спалюванні сміття. Екстраполюючи на всю Україну (125 тисяч тонн неконтрольовано спалених відходів), прямі збитки від забруднення атмосферного повітря оцінюються в 70-80 мільярдів гривень на рік [34, 29].

Непрямі економічні збитки

Окрім прямих збитків від забруднення атмосферного повітря, пожежі спричиняють значні непрямі економічні втрати [13, 19].

Витрати на ліквідацію пожеж щороку становлять 300-500 мільйонів гривень [3]. Це включає витрати на роботу пожежних підрозділів, використання техніки, палива, засобів гасіння, залучення додаткових сил з інших регіонів для гасіння масштабних пожеж. При особливо складних пожежах (лісові, торф'яні) витрати можуть сягати кількох мільйонів гривень за один епізод через необхідність тривалого гасіння та залучення спеціалізованої техніки.

Витрати на медичне обслуговування постраждалих оцінюються в 100-200 мільйонів гривень на рік [40, 41]. За даними медичної статистики, кожна велика пожежа призводить до госпіталізації десятків осіб з гострими респіраторними ураженнями, опіками різного ступеня тяжкості. Середня вартість лікування одного пацієнта з гострим отруєнням димом становить 15-30 тисяч гривень, а лікування важких опіків може сягати 200-500 тисяч гривень. Додаткові витрати пов'язані з амбулаторним лікуванням хронічних захворювань, що загострилися через вплив диму.

Прямі матеріальні втрати від знищення майна, врожаю, лісів становлять 2-5 мільярдів гривень на рік [13]. Щороку в Україні унаслідок пожеж, спричинених спалюванням відходів, знищується або пошкоджується близько 500-700 житлових будинків, тисячі господарських будівель. Середня вартість відбудови знищеного

житлового будинку в сільській місцевості становить 1-2 мільйони гривень. Пожежі на полях знищують посіви зернових, овочевих культур, багаторічних насаджень. Втрати врожаю на площі 1000 гектарів можуть становити 10-30 мільйонів гривень залежно від культури [6].

Лісові пожежі знищують деревину, яка могла б бути використана в господарстві [9]. Вартість знищеної деревини при лісовій пожежі на площі 100 гектарів може становити 5-20 мільйонів гривень залежно від типу лісу, віку насаджень, породного складу. Крім прямої вартості деревини, втрачаються кошти, вкладені в лісорозведення, догляд за насадженнями протягом десятиліть.

Непрямі втрати від зниження продуктивності земель та втрати екосистемних послуг оцінюються в 5-15 мільярдів гривень на рік [6, 19]. Деградація ґрунтів після пожеж призводить до зниження врожайності на 20-40% протягом наступних 2-3 років. Для відновлення нормальної родючості ґрунту необхідне внесення великих кількостей органічних добрив, що потребує додаткових витрат. Економічні втрати від зниження врожайності можуть перевищувати прямі втрати від знищення поточного врожаю.

Втрата екосистемних послуг, які надають ліси та інші природні екосистеми, має величезну економічну цінність [19]. Один гектар лісу щороку надає екосистемні послуги на суму 50-115 тисяч гривень: поглинання CO₂ та виділення кисню (15-30 тис. грн/га), регулювання водного режиму (10-20 тис. грн/га), збереження біорізноманіття (20-50 тис. грн/га), рекреаційна функція (5-15 тис. грн/га). Після лісової пожежі ці послуги втрачаються на період відновлення лісу, який може тривати 20-50 років. Повна економічна оцінка втрат від знищення 1000 гектарів лісу може становити 1-5 мільярдів гривень за весь період відновлення [19].

Загальна оцінка економічних збитків

Структуру економічних збитків від спалювання відходів та рослинних залишків в Україні наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Структура економічних збитків від спалювання відходів в Україні (за рік)

Вид збитків	Сума, млрд грн	Частка, %
Прямі збитки від забруднення атмосферного повітря		
- від спалювання рослинних залишків	4,8	5,1
- від спалювання побутових відходів	75,0	79,8
Проміжний підсумок	79,8	84,9
Витрати на ліквідацію та відновлення		
- витрати на ліквідацію пожеж	0,4	0,4
- медичне обслуговування постраждалих	0,15	0,2
- відновлення знищеного майна	3,5	3,7
Проміжний підсумок	4,05	4,3
Непрямі збитки		
- деградація земель та зниження врожайності	6,0	6,4
- втрата екосистемних послуг	4,0	4,3
Проміжний підсумок	10,0	10,6
ЗАГАЛЬНІ ЗБИТКИ	93,85	100,0

Примітка: Розраховано за методикою [29] на основі даних [3, 13, 34]

Як видно з таблиці 4.5, найбільшу частку в структурі збитків становлять прямі втрати від забруднення атмосферного повітря при спалюванні побутових відходів – 79,8% від загальної суми. Це пов'язано з надзвичайно високою токсичністю викидів діоксинів та важких металів [26, 29]. Непрямі збитки від деградації земель та втрати екосистемних послуг становлять 10,6% від загальної суми, але мають довготривалий характер і можуть проявлятися протягом десятиліть [6, 19]. Загальна сума економічних збитків від спалювання відходів та рослинних залишків в Україні оцінюється в 82-106 мільярдів гривень на рік [29].

Це становить близько 1,4-1,8% валового внутрішнього продукту України, що є надзвичайно значним економічним тягарем. Для порівняння, ці кошти могли б бути використані для: створення сучасної системи управління відходами в усіх регіонах України; будівництва 50-60 сучасних сміттєпереробних заводів; організації роздільного збору відходів у всіх населених пунктах; створення мережі компостних станцій для утилізації органічних відходів; проведення масштабних освітніх кампаній з екологічної культури населення [24, 34].

4.4. Регіональні особливості впливу спалювання відходів

Аналіз статистичних даних ДСНС виявив суттєві регіональні відмінності в масштабах та наслідках спалювання відходів [3, 13]. Регіональний розподіл пожеж та економічних збитків в Україні у 2024 році наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Регіональний розподіл пожеж та економічних збитків в Україні (2024 р.)

Регіон	Кількість пожеж	Площа, тис. га	Економічні збитки, млрд грн	Основний тип пожеж
Південний	15000	250-300	28,0	Степові
Центральний	12000	150-200	24,0	Спалювання стерні
Північний (Полісся)	8000	100-120	18,0	Лісові, торф'яні
Східний*	7000	80-100	15,0	Різні типи
Західний	5000	40-60	8,0	Побутові відходи
РАЗОМ	47000	620-780	93,0	-

Примітка: Без урахування тимчасово окупованих територій. За даними ДСНС [3] та власні розрахунки

З таблиці 4.6 видно, що південний регіон характеризується найвищою інтенсивністю пожеж та найбільшими економічними збитками, що зумовлено специфікою кліматичних умов та наявністю великих площ степових територій.

Південний регіон

Херсонська, Запорізька, Миколаївська, Дніпропетровська області характеризуються найвищою інтенсивністю пожеж.

Основними причинами високої пожежної активності є [13]:

- Посушливий клімат з тривалими періодами без опадів (30-40 днів влітку);

- Високі літні температури (до +38...+42°C);
- Сильні східні та північно-східні вітри (швидкість до 15-20 м/с);
- Великі площі степових ділянок із сухою рослинністю;
- Низька культура землекористування.

Центральний регіон

Вінницька, Кіровоградська, Черкаська, Полтавська області характеризуються високою частотою спалювання стерні та інших рослинних залишків [6, 20].

Особливості центрального регіону [20]:

- Найвища розораність території (70-80%)
- Інтенсивне сільськогосподарське виробництво
- Поширена практика спалювання стерні (незважаючи на заборону)
- Велика кількість приватних господарств
- Недостатній контроль з боку екологічних служб

Основні наслідки [6]:

- Деградація ґрунтів (зниження вмісту гумусу на 0,2-0,5% щороку на ділянках, що регулярно підпалюються)
- Зниження врожайності (на 15-25% протягом 2-3 років після пожежі)
- Забруднення повітря в сільських населених пунктах (перевищення ГДК по РМ_{2.5} у 5-8 разів під час масових підпалів)

Економічні збитки центрального регіону становлять 20-30 мільярдів гривень на рік, з яких близько 60% припадає на втрати від зниження родючості ґрунтів [13, 29].

Північний регіон (Полісся)

Житомирська, Київська, Чернігівська, Рівненська, Волинська області стикаються з проблемою лісових та торф'яних пожеж [9, 17].

Специфічні проблеми північного регіону [9, 17]:

- Лісові пожежі в соснових борах (найпоширеніші в квітні-травні)
- Торф'яні пожежі на осушених болотах (тліють місяцями)
- Пожежі в зоні відчуження ЧАЕС (ризик підняття радіонуклідів)
- Складність гасіння через віддаленість та недоступність територій
- Великі обсяги викидів чадного газу при торф'яних пожежах

Найбільші торф'яні пожежі 2024 року:

- Поліський природний заповідник (Житомирська обл.) – 1500 га
- Ірпінські торфовища (Київська обл.) – 800 га
- Ічнянський національний природний парк (Чернігівська обл.) – 600 га

Економічні збитки північного регіону становлять 15-25 мільярдів гривень на рік [29]. Особливо великі втрати від знищення цінних лісових насаджень та довготривалої втрати екосистемних послуг лісів.

Західний регіон

Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, Тернопільська області характеризуються меншою інтенсивністю пожеж порівняно з іншими регіонами [3].

Причини нижчої пожежної активності:

- Більш вологий клімат (600-900 мм опадів на рік)
- Менші площі відкритих степових територій
- Більша лісистість (30-40%), що знижує швидкість поширення пожеж
- Вищий рівень екологічної культури населення в деяких районах

Проте і тут існують проблеми [34]:

- Спалювання побутових відходів у сільській місцевості
- Недостатній розвиток інфраструктури управління відходами
- Пожежі на несанкціонованих сміттєзвалищах у приміських зонах

Економічні збитки західного регіону оцінюються в 5-10 мільярдів гривень на рік [29].

4.5. Заходи щодо зменшення негативного впливу спалювання відходів на довкілля

Вирішення проблеми неконтрольованого спалювання відходів та рослинних залишків потребує комплексного підходу, що включає організаційно-правові, технічні, економічні та освітньо-виховні заходи [24, 32, 34]. Ефективна система запобігання спалюванню може бути створена лише за умови одночасного впровадження всіх компонентів та узгодженої роботи різних державних органів, місцевого самоврядування, бізнесу та громадянського суспільства.

Удосконалення правового регулювання та контролю

Чинне законодавство України у сфері поводження з відходами та охорони атмосферного повітря потребує суттєвого вдосконалення [27, 31]. Необхідно посилити адміністративну та кримінальну відповідальність за спалювання відходів до економічно відчутного рівня, оскільки існуючі штрафи не становлять достатнього стримуючого фактору. Розміри санкцій мають відповідати реальним збиткам, що завдаються довкіллю та здоров'ю населення [30]. Важливим елементом є створення ефективної системи контролю за дотриманням природоохоронного законодавства через формування мобільних екологічних патрулів та впровадження автоматизованого моніторингу пожеж з використанням супутникових даних [32].

Імплементация європейських екологічних стандартів, передбачена Угодою про асоціацію з Європейським Союзом, вимагає приведення українського законодавства у відповідність до вимог Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди [39]. Це передбачає створення мережі автоматичних станцій моніторингу якості повітря, запровадження системи інформування населення про рівень забруднення в реальному часі та розробку планів дій на випадок епізодів високого забруднення.

Розвиток інфраструктури поводження з відходами

Створення сучасної інфраструктури для альтернативної утилізації відходів є ключовою технічною передумовою вирішення проблеми [34]. Це передбачає будівництво сміттєпереробних заводів в обласних центрах з використанням сучасних технологій термічної обробки при температурі понад 850°C з багатоступеневими системами очищення димових газів, що дозволяє мінімізувати викиди токсичних речовин, зокрема діоксинів [38]. Паралельно необхідно створювати мережу компостних станцій для переробки органічних відходів та рослинних залишків, що становлять значну частку побутових відходів та сільськогосподарської біомаси [6].

Організація роздільного збору відходів у всіх населених пунктах з встановленням відповідних контейнерів та створенням пунктів прийому небезпечних відходів дозволить значно зменшити кількість змішаних відходів, які потенційно можуть бути спалені неналежним чином [34]. Особливу увагу слід приділити організації збору небезпечних компонентів побутових відходів, таких як батарейки, люмінесцентні лампи, електронна техніка, що містять важкі метали та при спалюванні утворюють надзвичайно токсичні речовини [26].

Для сільської місцевості, де проблема спалювання рослинних залишків є найгострішою, необхідно впроваджувати альтернативні методи їх утилізації [6, 20]. Мульчування ґрунту подрібненою рослинністю дозволяє зберегти вологу та поживні речовини, заорювання стерні збагачує ґрунт органічною речовиною та покращує його структуру. Використання соломи як сировини для виробництва пелет, будівельних матеріалів або біогазу створює додаткові джерела доходу для сільгоспвиробників та одночасно вирішує проблему утилізації відходів.

Економічне стимулювання екологічно відповідальної поведінки

Створення системи економічних стимулів є важливим інструментом зміни поведінки населення та бізнесу [24, 34]. Запровадження депозитної системи за повернення вторинної сировини успішно зарекомендувало себе в багатьох європейських країнах, де рівень збору пластикових пляшок досягає 90-95%

порівняно з 20-30% при звичайній системі збору. Податкові пільги для підприємств з переробки відходів стимулюють розвиток цього сектору економіки, створюють нові робочі місця та зменшують навантаження на полігони [34].

Субсидування придбання обладнання для екологічно безпечного поводження з відходами, зокрема контейнерів для роздільного збору, подрібнювачів соломи для фермерів, компостерів для приватних домогосподарств, робить екологічні альтернативи економічно доступними [6]. Введення екологічного податку на захоронення відходів створює економічну мотивацію для їх переробки та повторного використання. Кошти, отримані від цього податку та штрафів за порушення екологічного законодавства, мають цільово спрямовуватися на розвиток інфраструктури поводження з відходами та фінансування природоохоронних заходів [24, 32].

Підвищення екологічної свідомості населення

Навіть найдосконаліше законодавство та інфраструктура не дадуть очікуваного результату без підвищення екологічної культури населення [33]. Впровадження екологічної освіти на всіх рівнях навчання, від дошкільних закладів до університетів, формує екологічно відповідальне покоління, яке розуміє наслідки своїх дій для довкілля. Особливо важливим є практичний компонент екологічної освіти через організацію шкільних екологічних патрулів, акцій зі збору вторинної сировини, проєктів з компостування [33].

Масові інформаційні кампанії в засобах масової інформації та соціальних мережах дозволяють швидко охопити широку аудиторію та змінити громадську думку щодо спалювання відходів [33]. Використання соціальної реклами, документальних фільмів, залучення популярних медіаперсон до просування екологічних ініціатив робить екологічну тематику актуальною та привабливою для різних верств населення. Створення мобільних додатків з інформацією про пункти прийому відходів, розкладом вивезення сміття, порадами щодо зменшення відходів робить екологічно відповідальну поведінку зручною та доступною.

Особливу увагу необхідно приділити роботі з фермерами та власниками приватних господарств, оскільки саме вони є основними джерелами спалювання рослинних залишків [6, 20]. Проведення тренінгів та семінарів щодо альтернативних методів утилізації, демонстрація економічних переваг екологічних практик через показові поля, надання консультацій агрономів дозволяють переконати сільгоспвиробників у доцільності відмови від спалювання. Важливим є створення асоціацій екологічно відповідальних фермерів для обміну досвідом та взаємної підтримки.

Регіонально-диференційований підхід

З урахуванням суттєвих регіональних відмінностей у характері та масштабах проблеми спалювання необхідно розробляти диференційовані підходи для різних регіонів України [13]. Для південних областей з високим ризиком степових пожеж пріоритетними є створення систем раннього попередження, організація протипожежних смуг, формування добровільних пожежних дружин. Центральні області з інтенсивним сільськогосподарським виробництвом потребують особливої уваги до проблеми спалювання стерні через субсидування придбання обладнання для альтернативної утилізації та жорсткого контролю за дотриманням заборони [6, 20].

Північні області з великими площами лісів та торфовищ потребують відновлення водного режиму осушених боліт для зниження пожежної небезпеки, створення протипожежних бар'єрів у лісових масивах, розширення мережі пожежних депо у віддалених районах [9, 17]. Західні області з кращою екологічною ситуацією можуть слугувати пілотними регіонами для впровадження інноваційних практик поводження з відходами з подальшим масштабуванням успішного досвіду на інші регіони.

Узагальнений комплекс заходів щодо зменшення негативного впливу спалювання відходів з термінами реалізації та очікуваними ефектами наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Комплекс заходів щодо зменшення негативного впливу спалювання відходів

Група заходів	Конкретні заходи	Термін реалізації	Очікуваний ефект
Організаційно-правові	Посилення відповідальності за спалювання	2026-2027	Зниження кількості випадків на 20-30%
	Створення екологічних патрулів	2026	Підвищення рівня контролю
	Впровадження автоматизованого моніторингу	2027-2028	Виявлення 90% випадків
Технічні	Будівництво сміттєпереробних заводів	2026-2030	Утилізація 60% відходів
	Створення компостних станцій	2026-2028	Переробка 80% органіки
	Організація роздільного збору	2026-2027	Зменшення спалювання на 40%
Економічні	Депозитна система для вторсировини	2027	Повернення 90% пластику
	Податкові пільги для переробників	2026	Розвиток галузі
	Субсидії на екообладнання	2026-2028	Доступність альтернатив
Освітні	Екологічна освіта в школах	2026-2030	Підвищення культури
	Інформаційні кампанії в ЗМІ	2026-2030	Охоплення 70% населення
	Тренінги для фермерів	2026-2027	Відмова від спалювання стерні

Примітка: Розроблено на основі аналізу [24, 32, 34, 39]

Реалізація запропонованого комплексу заходів (табл. 4.7) дозволить поетапно, протягом 2026-2030 років, суттєво зменшити масштаби неконтрольованого спалювання відходів та його негативний вплив на довкілля та здоров'я населення.

Міжнародна співпраця та обмін досвідом

Використання міжнародного досвіду успішного вирішення проблеми спалювання відходів дозволяє уникнути помилок та прискорити впровадження ефективних рішень [39]. Країни Європейського Союзу пройшли шлях від масового спалювання відходів до створення ефективної системи їх переробки протягом останніх 30-40 років. Участь у міжнародних програмах технічної допомоги, обмін досвідом з європейськими партнерами, стажування українських фахівців у

провідних європейських центрах з поводження з відходами сприяє трансферу технологій та знань [34].

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження впливу на довкілля спалювання сміття та рослинних залишків отримано наступні результати та сформульовано пропозиції.

1. Спалювання побутових відходів та рослинних залишків є однією з найгостріших екологічних проблем сучасної України, що призводить до значного забруднення атмосферного повітря, деградації екосистем та негативного впливу на здоров'я населення. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2024 році зареєстровано понад 101 тисячу випадків пожеж, значна частина яких спричинена спалюванням відходів та сухої рослинності. Порівняно з 2023 роком спостерігається зростання кількості пожеж на 41%, а за перші чотири місяці 2025 року кількість випадків на 57% перевищує показники попереднього року, що свідчить про загострення проблеми.

2. Аналіз літературних джерел та статистичних даних виявив, що основними причинами поширення практики спалювання є недосконалість системи управління відходами, відсутність альтернативної інфраструктури для їх утилізації, низький рівень екологічної культури населення, недостатній контроль з боку природоохоронних органів та слабка невідворотність покарання за порушення законодавства. Регіональний аналіз показав, що найвища інтенсивність пожеж спостерігається у південних областях через посушливий клімат та великі площі степових територій, у центральних областях проблема пов'язана переважно зі спалюванням стерні, а в північних регіонах актуальними є лісові та торф'яні пожежі.

3. На основі методу коефіцієнтів емісії визначено обсяги викидів забруднювальних речовин при спалюванні різних видів матеріалів. Встановлено, що щороку в Україні спалюється близько 500 тисяч тонн сухої рослинності та 100-150 тисяч тонн побутових відходів. Це призводить до викидів в атмосферу приблизно 8-9 мільйонів тонн діоксиду вуглецю, 560-600 тисяч тонн чадного газу, 22-25 тисяч тонн оксидів азоту, 155-160 тисяч тонн твердих частинок. Особливу небезпеку становлять викиди високотоксичних речовин при спалюванні побутових відходів, зокрема 6-8 кілограмів діоксинів та 250-300 тонн важких металів щороку.

4. Розрахунки економічних збитків за чинною методикою показали, що сумарні втрати від спалювання відходів та рослинних залишків в Україні становлять 82-106 мільярдів гривень на рік, що складає близько 1,4-1,8% валового внутрішнього продукту країни. Структура збитків включає прямі втрати від забруднення атмосферного повітря, витрати на ліквідацію пожеж та медичне обслуговування постраждалих, матеріальні втрати від знищення майна та врожаю, непрямі втрати від деградації земель та втрати екосистемних послуг. Найбільші збитки припадають на південний регіон через масштабні степові пожежі та центральний регіон через довготривалі наслідки деградації ґрунтів після спалювання стерні.

5. Екологічна оцінка впливу спалювання на довкілля виявила комплексний характер негативних наслідків. Рослинність зазнає значних втрат через пряме термічне знищення та токсичний вплив продуктів горіння, що призводить до зменшення щільності рослинного покриву на 40-70%, зміни видової структури фітоценозів та зниження біорізноманіття. Тваринний світ страждає від прямої загибелі в полум'ї, втрати місць існування та накопичення токсикантів у харчових ланцюгах. Ґрунти втрачають родючість через знищення мікроорганізмів, порушення структури та зменшення вмісту органічної речовини. Атмосферне повітря в районах активного спалювання характеризується перевищенням гранично

допустимих концентрацій забруднювачів у 3-8 разів для твердих частинок та у 2-3 рази для газоподібних домішок.

6. Вплив на здоров'я населення проявляється через підвищення захворюваності на респіраторні та серцево-судинні хвороби, особливо серед вразливих груп населення. За даними медичної статистики, в регіонах з високою інтенсивністю спалювання відходів кількість звернень з приводу респіраторних захворювань зростає на 40-60% під час пікових періодів пожеж. Довготривалий вплив забруднення повітря, особливо дрібнодисперсних частинок та токсичних органічних сполук, призводить до хронічних захворювань, зниження тривалості життя та погіршення якості життя населення.

7. Вирішення проблеми неконтрольованого спалювання потребує комплексного підходу, що включає удосконалення правового регулювання з посиленням відповідальності за порушення та покращенням системи контролю, створення сучасної інфраструктури для альтернативної утилізації відходів через будівництво сміттєпереробних заводів та компостних станцій, запровадження економічних стимулів для екологічно відповідальної поведінки та підвищення рівня екологічної культури населення через освітні програми та інформаційні кампанії. Важливим є диференційований регіональний підхід з урахуванням специфіки кожного регіону та використання міжнародного досвіду успішного вирішення аналогічних проблем.

ПРОПОЗИЦІЇ:

На основі результатів дослідження сформульовано наступні пропозиції для органів державної влади та місцевого самоврядування. Необхідно прийняти зміни до Кодексу України про адміністративні правопорушення щодо збільшення розмірів штрафів за спалювання відходів та рослинних залишків до економічно відчутного рівня та забезпечити невідворотність покарання через створення ефективної системи контролю. Розробити та затвердити Державну стратегію запобігання спалюванню відходів на період до 2030 року з визначенням конкретних цілей, завдань, індикаторів та джерел фінансування.

Органам місцевого самоврядування рекомендується розробити та впровадити місцеві програми поводження з відходами з обов'язковим створенням інфраструктури для роздільного збору та компостування органічних відходів. Необхідно організувати регулярне інформування населення про шкідливість спалювання відходів, альтернативні методи їх утилізації та графік роботи пунктів прийому вторинної сировини. Для сільських територіальних громад важливо створити локальні компостні майданчики для переробки рослинних залишків та забезпечити доступність послуг з вивезення відходів для всіх домогосподарств.

Сільськогосподарським виробникам рекомендується відмовитися від практики спалювання стерні та перейти на екологічно безпечні методи її утилізації через заорювання, мульчування або використання як сировини для виробництва

біопалива. Необхідно впроваджувати сучасні агротехнології, які забезпечують збереження родючості ґрунтів та підвищення врожайності без використання вогню. Освітнім закладам рекомендується посилити екологічну освіту та виховання через включення практичних занять з сортування відходів, компостування та енергозбереження у навчальні програми.

Реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво зменшити масштаби неконтрольованого спалювання відходів в Україні, покращити стан атмосферного повітря, зберегти природні екосистеми та захистити здоров'я населення. Економічний ефект від впровадження системи екологічно безпечного поводження з відходами значно перевищить необхідні інвестиції завдяки зменшенню збитків від забруднення довкілля, зниженню витрат на охорону здоров'я, збереженню родючості ґрунтів та екосистемних послуг природних територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко О. М., Рудько Г. І., Кошляков О. Є. Екологія міських систем : підручник. Чернівці : Букрек, 2014. 752 с.
2. Адаменко Я. О., Міщук З. А. Екологічні наслідки спалювання біомаси в Україні. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28, № 7. С. 7–11. DOI: 10.15421/40280701
3. Аналітичні довідки про пожежі та їх наслідки в Україні. Державна служба України з надзвичайних ситуацій : офіц. вебсайт. URL: <https://dsns.gov.ua> (дата звернення: 15.11.2025).
4. Бобильов Ю. П., Бриндіков Ю. Л., Забулонов Ю. Л. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Кондор, 2010. 544 с.
5. Бойченко С. В., Доценко С. М., Дульська І. В. Екологія : підручник. Київ : Арістей, 2019. 416 с.
6. Васютинська К. А., Коваль Н. В. Спалювання стерні як чинник деградації ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2020. № 5. С. 34–40. DOI: 10.31073/agrovisnyk202005-05
7. Вергелес Ю. І., Петренко Г. С. Оцінка впливу лісових пожеж на забруднення атмосферного повітря. Агроекологічний журнал. 2019. № 2. С. 56–63.
8. Гончарук Є. І., Сидоренко Г. І., Трахтенберг І. М. Гігієнічне нормування хімічних речовин у навколишньому середовищі. Київ : Авіценна, 2001. 416 с.

9. Гордієнко М. І., Маурер В. М., Степаненко М. М. Екологічні наслідки лісових пожеж на Поліссі України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 130. С. 24–32.
10. Гриценко А. В., Васильєв В. П., Грищенко В. Ф. Екологія довкілля. Охорона природи : навч. посібник. Київ : Вища школа, 2005. 303 с.
11. Джигирей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища : навч. посібник. Львів : Афіша, 2000. 272 с.
12. Дідух Я. П., Розенбліт Ю. В. Вплив пірогенного чинника на рослинність степової зони України. Український ботанічний журнал. 2018. Т. 75, № 4. С. 313–323.
13. Довкілля України за 2023 рік : статистичний збірник. Київ : Державна служба статистики України, 2024. 214 с.
14. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.
15. Жигуць Ю. Ю., Колесник В. Є. Оцінка впливу лісових пожеж на атмосферне повітря. Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29, № 2. С. 89–93. DOI: 10.15421/40290218
16. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34-35. Ст. 458.
17. Кукурудза С. І., Каланча І. Г., Полозенко О. О. Торф'яні пожежі в Україні: причини виникнення та екологічні наслідки. Агроекологічний журнал. 2021. № 3. С. 78–86.
18. Малюга В. М., Паламар В. І., Серебряков Б. В. Екологія. Охорона природи : навч. посібник. Ужгород : ІВА, 2002. 464 с.
19. Мельник Л. Г. Екологічна економіка : підручник. Суми : Університетська книга, 2006. 367 с.

20. Мельничук Л. С., Савчук І. М. Забруднення атмосферного повітря продуктами горіння в аграрному секторі. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2018. № 4. С. 112–118.
21. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів : затв. наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 13.11.2020 № 804. Київ, 2020. 54 с.
22. Миколайчук В. Г., Войтюк М. М. Вплив пожеж на екосистеми лісостепової зони. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Хімія. 2019. Вип. 1(41). С. 67–72.
23. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2023. 356 с.
24. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року : схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 № 820-р. Офіційний вісник України. 2017. № 91. Ст. 2833.
25. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України. Український гідрометеорологічний центр : офіц. вебсайт. URL: <https://meteo.gov.ua> (дата звернення: 15.11.2025).
26. Петрук В. Г., Петрук Р. В., Мудрак О. В. Екологічна небезпека утворення діоксинів при спалюванні відходів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 6. С. 34–40.
27. Порядок випалювання сухої рослинності або її залишків : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 12.08.2021 № 541. Офіційний вісник України. 2021. № 75. Ст. 4797.
28. Про відходи : Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36-37. Ст. 242.
29. Про затвердження Порядку визначення та відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного і природного

характеру : Постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.2013 № 193. Офіційний вісник України. 2013. № 25. Ст. 865.

30. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417. Офіційний вісник України. 2015. № 14. Ст. 377.

31. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-ХІІ. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 50. Ст. 678.

32. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. Ст. 546.

33. Саєнко Г. Є. Екологічні проблеми сміттєзвалищ в Україні. Екологічна безпека. 2016. № 1(21). С. 18–23.

34. Шмандій В. М., Шмандій О. В., Харламова О. В. Управління відходами : навч. посібник. Київ : Кондор, 2014. 298 с.

35. Air pollution. World Health Organization : official website. URL: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>(дата звернення 15.11.2025).

36. Ambient air pollution: Health impacts. World Health Organization. Geneva, 2023. 28 p.

37. Copernicus Atmosphere Monitoring Service: Global Fire Emissions. URL: <https://atmosphere.copernicus.eu>(дата звернення: 15.11.2025).

38. Demirbas A. Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science. 2004. Vol. 30, № 2. P. 219–230. DOI: 10.1016/j.peccs.2003.10.004

39. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. L 152. P. 1–44.

40. Johnston F. H., Henderson S. B., Chen Y. et al. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. Environmental Health Perspectives. 2012. Vol. 120, № 5. P. 695–701. DOI: 10.1289/ehp.1104422

41. Reid C. E., Brauer M., Johnston F. H. et al. Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environmental Health Perspectives*. 2016. Vol. 124, № 9. P. 1334–1343. DOI: 10.1289/ehp.1409277
42. Spreading like Wildfire: The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. United Nations Environment Programme. Nairobi, 2022. 116 p.
43. Urbanski S. P. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Emission factors. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 317. P. 51–60. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.045
44. van der Werf G. R., Randerson J. T., Giglio L. et al. Global fire emissions estimates during 1997–2016. *Earth System Science Data*. 2017. Vol. 9. P. 697–720. DOI: 10.5194/essd-9-697-2017
45. WMO Air Quality and Climate Bulletin. World Meteorological Organization. 2024. № 4. 42 p.

