

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 504.064.2

Mykhailo Popov¹, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Director, State Institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the NASU”
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227> **e-mail:** mpopov@casre.kiev.ua

Roman Ponomarenko², Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Institute
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8445-8251> **e-mail:** indcz@nuczu.edu.ua

Sergey Mosov², Dr. Sci. (Mil.), Professor, Senior lecturer
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0833-3187> **e-mail:** indcz@nuczu.edu.ua

¹State Institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

²Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PEAT FIRES AS A GLOBAL ENVIRONMENTAL PROBLEM

Abstract. *The spread of peat fires in many countries has recently caused great concern worldwide. The reason is that peat fires release significant amounts of carbon dioxide into the atmosphere, which increases the greenhouse effect and negatively affects the climate. Smoke and ash released during peat burning have a harmful effect on human health and are especially dangerous for people with respiratory diseases. The increase in the number of peat fires is associated with climate change, which leads to drier conditions in forests, a decrease in the total amount of precipitation, as well as an increase in anthropogenic impact on nature. The actualization of the problem of peat fires, the growth of the dynamics of which can lead to a planetary environmental problem and its catastrophic consequences, has become an impetus for a systematic study of the situation with peat fires. The study is aimed at forming an interdisciplinary understanding of peatlands and peat fires in the modern world, clarifying their consequences and identifying possible environmental problems of the near future. Given the large-scale increase in peat fires in recent decades in many countries of the world, the authors set themselves the goal of systematizing knowledge about peat fires and their consequences in the context of a global environmental problem. The study is based on such methods as system analysis, statistical and historical methods, interdisciplinary approach, causal analysis, and others. The study provides a systematic description of many peatlands and clarifies the causes of peat fires in various regions of the world, including Ukraine. Directions of further research include the development of methods for remote detection of peat layers in the mode of weak smouldering, forecasting the dynamics of the occurrence and spread of peat fires taking into account the geological features of the territory. During the research, it is planned to develop a corresponding scientific and applied apparatus, as well as to use the capabilities of modern remote sensing technologies.*

Key words: *environment, peatland, burning, fire, ecosystem.*

М.О. Попов¹, Р.В. Пономаренко², С.П. Мосов²

¹Державна установа “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, м. Київ, Україна

²Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, м. Київ, Україна

ТОРФ'ЯНІ ПОЖЕЖІ ЯК ГЛОБАЛЬНА ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМА

Анотація. *Поширення торфових пожеж у багатьох країнах останнім часом викликає велике занепокоєння у всьому світі. Причина у тому, що торфові пожежі викидають в атмосферу значну кількість вуглекислого газу, що посилює парниковий ефект і негативно впливає на клімат. Дим і попіл, що виділяються під час горіння торфу, шкідливо впливають на здоров'я людини та є особливо небезпечними для людей із захворюваннями дихальних шляхів. Збільшення кількості торфових пожеж пов'язане зі зміною клімату, що призводить до посушливіших умов у лісах, зменшення загальної кількості опадів, а також збільшення антропогенного впливу на природу. Актуалізація проблеми торфових пожеж, зростання динаміки яких може призвести до планетарної екологічної проблеми та її катастрофічних наслідків, стала поштовхом до систематичного вивчення ситуації з торфовими пожежами. Дослідження спрямоване на формування міждисциплінарного розуміння торфовищ та торфових пожеж у сучасному світі, з'ясування їх наслідків та виявлення можливих екологічних проблем найближчого майбутнього. З огляду на масштабне зростання торфових пожеж за останні десятиліття в багатьох країнах світу, автори поставили собі за мету систематизувати знання про торфові пожежі та їх наслідки в контексті глобальної екологічної проблеми. Дослідження базується на таких методах, як системний аналіз, статистичний і історичний методи, міждисциплінарний підхід, причинний аналіз та ін. В дослідженні надано системну характеристику торфовищ, з'ясовано причини торфових пожеж у різних регіонах світу, включаючи Україну. Напрямки подальших досліджень включають розробку методів дистанційного виявлення торф'яних пластів у режимі слабкого тління, прогнозування динаміки виникнення та поширення торф'яних пожеж з урахуванням геологічних особливостей території. Під час дослідження планується розробити відповідний науково-прикладний апарат, а також використовувати можливості сучасних технологій дистанційного моніторингу природного середовища.*

Ключові слова: *природне середовище, торфовище, загоряння, пожежа, екосистема.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.2.7-17>

Вступ

Ми живемо в часи, коли проблеми довкілля та їх руйнівний вплив на людину стали очевидними, і сьогодні питання екології стоїть як ніколи гостро. До факторів, що потужно та негативно впливають на екологічну обстановку на нашій планеті, відносять торф'яні пожежі. Ці пожежі можуть виникнути через природні причини, такі як блискавка, або ж через дії людини, наприклад, неправильне використання вогню. Торф є дуже горючим матеріалом, який постійно тліє під землею на глибині до декількох метрів. При цьому торф'яні пожежі дуже складно гасити, тому що вони затяжні та можуть тривати протягом декількох місяців або навіть років.

Торф'яні пожежі мають серйозні наслідки як для навколишнього середовища, так і здоров'я людини. По-перше, вони призводять до викиду в атмосферу значної кількості вуглекислого газу, що підсилює ефект парникового газу та негативно впливає на клімат. По-друге, вони можуть призвести до знищення природних екосистем, включаючи рідкісні види рослин і тварин. По-третє, дим і попіл, що виділяються під час торф'яних пожеж, є шкідливими для здоров'я людини, особливо для людей із захворюваннями дихальної системи. На жаль, торф'яні пожежі стали все більш поширеними в останні роки. Це пов'язано з кліматичними змінами, які призводять до більш сухих умов у лісах і зменшення кількості опадів, а також зі збільшенням антропогенного впливу на природу.

Постановка завдання. Торфовища, як критично важливі поглиначі вуглецю та осередки біорізноманіття, розташовані на території 177 з 193 держав-членів ООН [1]. У зв'язку з цим сьогодні в усьому світі актуалізується проблема торф'яних пожеж, наростання динаміки яких здатне призвести до значного посилення загальної екологічної проблеми та її негативних наслідків для нашої планети. У зв'язку з цим системне дослідження торф'яних пожеж дозволить сформулювати багатопредметне уявлення про загальну ситуацію з торфовищами та торф'яними пожежами у світі, існуючими наслідками та можливою екологічною проблематикою найближчого майбутнього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, пов'язані з дослідженням торфовищ і торф'яних пожеж та їхніх наслідків, розкриті в низці праць іноземних і вітчизняних фахівців та вчених: Г. Паркер (оцінка торф'яних пожеж з точки зору здоров'я та безпеки), Б. Мінаський, Д. Адецу та ін. (картографування та моніторинг стану торфовищ), Г. Рейн і С. Хуан (дослідження тліючих лісових пожеж на торфовищах у лісах та в Арктиці), Г. Рейн (питання довгого повільного горіння тліючих торф'яних мегапожеж), К. Маккартер, Г. Клей та ін. (торф'яні пожежі та вивільнення токсичних металів), П. Перкаса, С. Чалмерс та ін. (виявлення та геолокація торф'яних пожеж), М. Жижин, Ф. Хсу та ін. (ідентифікація тліючих торф'яних пожеж в Індонезії), В. Осадчий, А. Орещенко та ін. (супутниковий моніторинг пожеж і забруднення атмосферного повітря), В. Лялько, О. Сибірцева та ін. (визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі) та інші.

Разом з тим, питання систематизації знань про торф'яні пожежі та їхні наслідки в площині глобальної світової екологічної проблеми є актуальними і вимагають проведення відповідного дослідження.

Мета дослідження. Систематизувати знання про торф'яні пожежі та їхні наслідки в площині глобальної світової екологічної проблеми.

Результати досліджень

За даними Міжнародного торф'яного товариства (International Peat Society, IPS), торфовища займають близько 3% площі нашої планети, або більш 400 млн га (рис. 1) [2, 3]. Вони зберігають майже 30% світового запасу вуглецю в ґрунті, що вдвічі перевищує кількість вуглецю, що міститься в лісах всього світу.

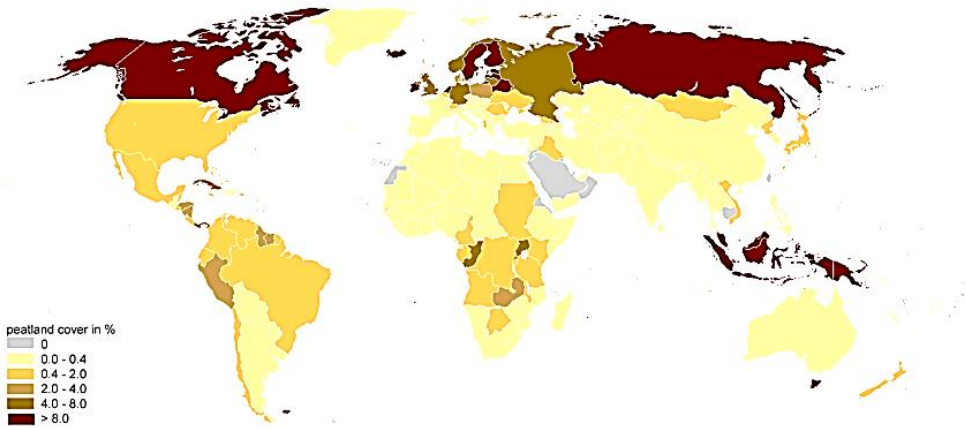


Рис. 1. Географічне розташування торфовищ [2]

У місцевому масштабі торфовища сприяють регулюванню та очищенню води, підтримують місцеве населення та знижують ризик пожеж, посух і повеней. Вони служать середовищем існування для понад тисячі вразливих, зникаючих і таких, що перебувають на межі зникнення, видів рослин і тварин. Повна залежність торфовищ від води для підтримки природних процесів робить їх надзвичайно важливими наземними екосистемами. Вони піддаються зростаючому тиску з боку антропогенного розвитку та посух.

Зазначений запас вуглецю знаходиться під загрозою, оскільки торфовища продовжують деградувати зі зростаючою швидкістю по всьому світу. Сільське господарство, урбанізація, вирубка лісів і промислова діяльність повсюдно піддають їх і забезпечувані ними найважливіші екосистемні послуги ризику: сьогодні близько 12% торфовищ світу осушені та деградували в результаті переобладнання для сільського господарства, лісового господарства, розвитку інфраструктури та інших цілей, що сприяє не менше 4% щорічних глобальних антропогенних викидів. Про це свідчить Глобальний атлас осередків торфовищ, опублікований Програмою ООН у 2024 р. із навколишнього середовища (ЮНЕП). В Атласі представлені докази необхідності посилення охорони та відновлення торфовищ, а також інвестицій у дослідження та моніторинг [1].

Загалом, 500 тис. га (~ 0,1%) незайманих торфовищ щорічно знищуються в результаті діяльності людини в таких гарячих точках, як Східна та Південно-Східна Азія, тоді як торфовища залишаються, в основному, незайманими в регіонах, віддалених від міжнародних ринків, у деяких (суб)арктичних, бореальних і тропічних зонах [5].

Як показує аналіз, торфовища досить різноманітні: від помірних болотистих місцевостей з відкритою безлісою рослинністю, таких як Flow Country в Шотландії, до болотистих лісів у Південно-Східній Азії [4]. Великі запаси торфу є в Індонезії, Канаді, рф, Білорусі, Ірландії, Великій Британії та низці штатів США [2].

Достатньо велику площу – до 1 млн га – торф'яні родовища обіймають в Україні, при цьому їх найбільша кількість зосереджена у Поліссі (Житомирська, Рівненська, Чернігівська, Волинська області), а також у Київській області. У цілому торфові ресурси України оцінюються у 2,17 млрд т [6].

Разом з тим людство продовжує відкривати нові торф'яні родовища. Так, у 2017 році в Африці під лісами басейну річки Конго (Заїр) було виявлене торф'яне родовище, яке за своєю площею перевершує всі відомі до цього тропічні торфовища.

Зберігаючи, захищаючи та відновлюючи торфовища по всьому світу, людство може значно скоротити викиди та відродити ключові екосистеми, що містять найвищі запаси вуглецю на гектар серед усіх природних екосистем у світі. Питання збереження та відновлення торфовищ відображено в багатьох глобальних політичних документах (Рамсарська конвенція [7], Глобальна ініціатива торфових боліт [8], Стратегія збереження біорізноманіття [9] тощо).

На реалізацію вимог, сформульованих у зазначених документах, спрямовані введені Євросоюзом у 2022 році правила сталого управління торфовищами, виконання яких стимулює інвентаризацію запасів вуглецю та динаміки торфовищ і, як передбачається, забезпечить скорочення чистих викидів парникових газів на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року, а також досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року [10].

Отже, торфовища – це потужний природний актив, який традиційно використовується місцевим населенням і знаходить досить широке застосування в промисловості та сільському господарстві.

З іншого боку, викиди різних газів і дрібнодисперсних частинок, що супроводжують осушення торфовищ, а також продукти неповного розкладання рослинної маси в умовах надмірної вологості та недостатньої аерації серйозно забруднюють атмосферне повітря [11]. Викиди шкідливих газів та токсичних частинок в атмосферу – екологічні наслідки пожеж на торфовищах.

У природних умовах приповерхневий шар торфу знаходиться під впливом опадів та сонячного випромінювання. У процесі такого впливу вологовміст торфу в результаті конвективно-кондуктивного теплообміну з приземним шаром атмосфери поступово зменшується, досягаючи в деякий момент значення менше критичного. У певній мірі нагрітий і висушений шар торфу стає чутливим до підпалу. Вважається що торф стає здатним до займання при вологості менш 73%, а якщо вологість зменшується до 40%, то торф стає легкозаймистим [12].

Підпалювач може бути природним або, на жаль, антропогенним. Природними підпалювачами можуть бути удари блискавки в суху грозу, вогняні іскри низової лісової пожежі або ін. Антропогенні підпалювачі – необережне поводження людини з вогнем, іскри з несправних глушників проїжджаючого автотранспорту, рідке паливо, окремі різновиди сміття тощо. Підпал призводить до займання, що проявляється у вигляді тління (повільного безполуменового горіння) або відкритого вогню (полум'яного горіння). Іноді, при температурах вище за 50°C, може відбуватися самозаймання торфу, причиною якого є екзотермічні теплові, хімічні та мікробіологічні процеси.

Тління – типова форма горіння у торф'яних ґрунтах. Горіння в режимі тління відбувається як за рахунок кисню, що надходить разом з повітрям, так і за рахунок його виділення при термічному розкладанні матеріалу, що загоряється. Порівняно з полум'яним горінням, тління протікає безполум'яно і характеризується нижчими показниками: температурою; швидкістю поширення; швидкістю виділення тепла.

Тліючі торф'яні пожежі стають глобальною проблемою, оскільки вони спричиняють значне забруднення повітря, викидають дуже великі обсяги вуглецю, їх важко виявити та загасити, і вони можуть прискорити зміну клімату на нашій планеті. При достатній кількості кисню, помірному вітрі, наявності шляхів поширення вогню безполуменеве горіння поступово переходить в полум'яне, тобто виникає торф'яна пожежа. Наслідки подальшого і активного розповсюдження торф'яної пожежі – це небезпечно для людей погіршення якості повітря.

У сучасному світі в стадії горіння опиняються щороку сотні тисяч кубометрів торфу. Торф'яні пожежі можуть досягати дуже великих розмірів і спалювати величезну кількість палива, у багато разів більше, ніж палаючі пожежі. Пожежі на торфовищах можуть викидати більше парникових газів, ніж будь-який інший тип пожежі – до 10 разів більше вуглецю на гектар, ніж звичайні лісові пожежі. При цьому слід враховувати, що торф'яні пожежі відрізняються від інших пожеж своєю тривалістю.

Найбільш потерпілими від торф'яних пожеж є екосистеми Європи, помірні та бореальні ліси в РФ, на Британських островах і в Скандинавії. Відомими постраждалими регіонами в іншому світі є Північна Америка (зокрема, Канада, Аляска і Флорида), південь Австралії і Центральна Африка [13].

Торф'яні пожежі відбуваються з різною частотою по всьому світу в тропічних, помірних і бореальних регіонах. Не є рідкістю торф'яні пожежі, що тривають кілька місяців, як, наприклад, мегапожежі на Борнео в Індонезії в 1997 році, у дельті річки Окаванго в Ботсвані в 2000 році або на Еванс-роуд у Північній Кароліні (США) у 2008 році. Торф'яна мегапожежа 1997 року на Борнео призвела до екстремального димового явища. Дим покрив більшу частину Південно-Східної Азії, досягнувши навіть Австралії та Китаю, і викликав сплеск респіраторних захворювань у населення і порушення судноплавства та авіаперевезень на кілька тижнів [14].

У 2010 році кілька сотень пожеж на бореальних торфовищах на осушених і розроблюваних російських торфовищах не тільки ускладнили та здорожили гасіння пожеж, але і викликали димове забруднення, яке призвело до більш ніж 3 тис. додаткових смертей [15].

В останні роки торф'яні пожежі привернули увагу урядів і неурядових організацій, оскільки становлять не тільки екологічну, але й економічну проблему, особливо в густонаселених регіонах Південно-Східної Азії [16]. Серед таких проблем – втрати та пошкодження майна на урбанізованих територіях, втрачання лісових ресурсів, погіршення біорізноманіття тощо (рис. 2).

Лісові пожежі на торфовищах можуть бути викликані горінням пористих видів палива, рослинності та сміття. Вони можуть поширюватися глибоко в ґрунт і повільно горіти протягом тривалого часу. Торф'яні пожежі можуть досягати дуже великих розмірів і спалювати величезну кількість палива, у багато разів більше, ніж палаючі пожежі. Неповне згорання, що відбувається під час торф'яних пожеж, означає, що в атмосферу викидається безліч токсичних частинок, що призводить до погіршення якості повітря для людей і тварин у постраждалих районах.

Посухи, осушення та зміни в землекористуванні вважаються основними причинами, що призводять до високої займистості сухих торфовищ. Причиною спалахування більшої частини торф'яних пожеж є практика

підсічно-вогневої вирубки, що масово має місце, наприклад, у Південно-Східній Азії та призводить до швидкого очищення рослинності для плантацій. Можливі події загоряння можуть бути природними (наприклад, удар блискавки, самонагрівання, виверження вулкана) або антропогенними (неправильне землекористування, випадкове загоряння, підпал тощо). У бореальних регіонах причиною пожеж на торфовищах є дії людини та блискавки, кожна з яких спричиняє близько 50% загорянь [17].

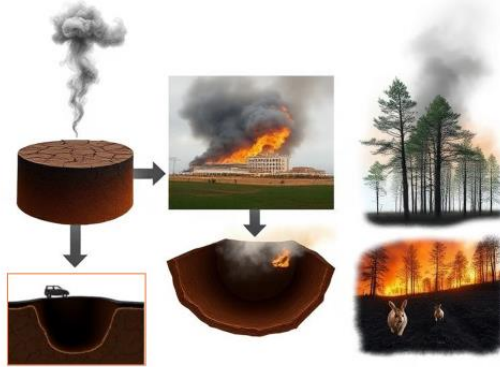


Рис. 2. До наслідків торф'яних пожеж

У тропічних країнах, таких як Індонезія, величезною проблемою є повторювані великомасштабні торф'яні пожежі [18]. Вони можуть тривати тижнями та викликати великі епізоди забруднення повітря (значну димку). Це ілюструють руйнівні наслідки пожеж, наприклад, 2015 року, в яких згоріла площа 4,6 млн га. Ці пожежі призвели до економічних втрат для мільйонів індонезійців. Світовий банк підрахував, що десятки млн людей страждали від серйозних проблем зі здоров'ям. Рецензоване дослідження підрахувало, що 69 млн людей піддавалися впливу димового забруднення протягом трьох місяців, а в результаті цих пожеж сталося більше 100 тис. смертей [19, 20]. На додаток до людської трагедії, втрата стількох життів призвела до величезних довгострокових економічних втрат для країни.

У 2019 році потужні торф'яні пожежі місяцями вирували по всій Індонезії, знищивши понад 3 млн га землі – приблизно площу Бельгії – і огорнувши шість сусідніх країн отруйним димом [21].

Торфовищами вкриті 9% території Великої Британії, які в здоровому стані видаляють з атмосфери понад 3 млн т вуглекислого газу на рік. Дослідники виявили, що “пожежний сезон” у країні, коли пожежі трапляються на природних територіях, значно збільшився з 2011 року: з одного-чотирьох місяців у 2011–2016 роках до шести-дев'яти місяців у 2017–2021 роках. Ця зміна особливо помітна в Шотландії, де відбувається майже половина всіх пожеж у Великій Британії. Дослідники також підраховали, що в результаті пожеж на торфовищах Великої Британії в період 2001–2021 років було викинуто в атмосферу 800 тис. т вуглецю. У результаті пожежі на болотах Седдлворт у 2018 році було викинуто 24 тис. т вуглецю, а в результаті пожежі на болотах Флоу-Кантрі в 2019 році в результаті спалювання торфу було викинуто 96 тис. т вуглецю [22].

На території Канади знаходиться чверть світових торфовищ. Більша частина канадських торфовищ знаходиться в зоні бореальних лісів, де поширені такі дерева, як чорна ялина, схильна до загоряння. Наявність цих дерев, а також багаті запаси вуглецю в ґрунті роблять торфовища дуже пожежонебезпечними, особливо в посушливі періоди. Попередні оцінки фахівців показують, що торф'яні пожежі на заході Канади щорічно викидають близько 6 тераграмів (мільйонів метричних тонн) вуглецю. У цілому, лісові пожежі по всій Канаді щорічно викидають близько 27 тераграмів вуглецю в повітря. Це означає, що торф'яні пожежі можуть робити значний внесок у загальнонаціональні викиди вуглецю. Глибокі торф'яні пожежі можуть призвести до ще більших викидів, оскільки щільність вуглецю в торфі експоненційно збільшується з глибиною. Кількість дуже великих пожеж (≥ 100 тис. га) і пожеж, що виникають наприкінці вегетаційного періоду, коли рівень ґрунтових вод торфовищ зазвичай низький по всій Північній Америці, щорічно збільшується [23, 24].

Незважаючи на те, що торфовища займають лише 1,2% від загальної площі суші США (приблизно 3,7 млн кв. миль), вони містять близько 20% вуглецю, що зберігається в ґрунті країни, – приблизно стільки ж вуглецю, скільки щорічно поглинають 60 млрд акрів лісів. Повністю або частково осушені торфовища вразливі до таких факторів стресу, як посуха та лісові пожежі. Так, наприклад, пожежа на Еванс-роуд у 2008 році на сході Північної Кароліни, що сталася на території деградованих торфовищ, обійшлася штату в \$20 млн тільки на гасіння пожеж [25].

Екологічний стан території України також щорічно порушується торф'яними пожежами. При цьому має місце нерівномірна просторово-часова динаміка торф'яних пожеж з чіткою концентрацією в окремих регіонах Полісся та центральній частині країни. Загальна динаміка торф'яних пожеж за останні роки така: 2020 рік – 440; 2021 рік – 79; 2022 рік – 181; 2023 рік – 83; 2024 рік – 190 [26]. Найбільш пожежонебезпечними регіонами виявилися Київська, Львівська, Житомирська, Волинська та Полтавська області.

За результатами аналізу до ключових причин пожеж на торфовищах в Україні у період 2020–2024 років слід віднести: необережне поводження з вогнем – визначальна причина (70–94%); самозаймання торфу – стабільний природно-кліматичний чинник; підпали – соціально небезпечний, але кількісно обмежений фактор; воєнні чинники (боєприпаси) – зростаюча загроза. Отримані результати підтверджують, що переважна більшість торф'яних пожеж має антропогенне походження. Таким чином, Україна стикається з тими ж проблемами, що мають інші країни світу.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Результати досліджень свідчать про надзвичайну важливість і терміновість підсилення боротьби з екологічними і економічними наслідками торф'яних пожеж у всьому світові. Це включає припинення деградуючої діяльності, такої як перетворення сільськогосподарських угідь та осушення, а також відновлення умов перезволоження, необхідних для утворення торфу. Дані показують, що це єдиний наземний варіант для безстрокового утримання вуглецю, який є економічно ефективним, і що будь-які викиди від відновлення більш ніж компенсуються в довгостроковій перспективі.

Реальний перелом ситуації, що склалася, може бути досягнутий лише за умови повного досягнення цілей, резолюцій і стратегічних дій, сформульованих у Програмі ООН з навколишнього середовища, Рамсарській конвенції, програмних документах Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН тощо. До них належать: оцінка розподілу та стану торфовищ у світі; вимірювання та звітність про викиди з торфовищ; захист та відновлення торфовищ за допомогою цільових інвестицій; стимулювання ринкових механізмів підтримки торфовищ; залучення та підтримка місцевих громад до сталого управління торфовищами та подолання пов'язаних з цим витрат; обмін досвідом та знаннями щодо збереження, відновлення та покращення управління торфовищами.

Необхідно встановити чіткі та амбітні цілі щодо повторного зволоження та відновлення торфовищ, а захист торфовищ має бути включений до національних планів адаптації для виконання зобов'язань за Паризькою угодою. Державне та приватне фінансування має бути мобілізоване для збереження торфовищ та створення зелених робочих місць.

Виконання таких багатопланових і ємних робіт неможливо без щільної співпраці відповідних спеціалістів і організацій як на міжнародному, так і на національному рівнях. У зв'язку з цим, актуальними напрямками подальших досліджень слід вважати розробку методик дистанційного виявлення шарів торфу в режимі слабкого тління, надійних методів оцінювання ступеня готовності торфу до займання та розповсюдження, прогнозування динаміки виникнення та розповсюдження торф'яної пожежі з урахуванням геологічних особливостей території тощо.

Важливим напрямком перспективних досліджень на шляху радикального розв'язання проблеми торф'яних загорянь (пожеж) як у світі, так і в Україні, має стати розробка науково-прикладного апарату виявлення торф'яних загорянь на ранніх стадіях із залученням сучасних технологій дистанційного моніторингу природного середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ \ REFERENCES

1. Peatlands degrading in 177 countries, putting climate goals at risk. UNEP. (2024, November 21). Retrieved from <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/peatlands-degrading-177-countries-putting-climate-goals-risk>
2. Charman, D. (2002). *Peatlands and Environmental Change*. Chichester: John Wiley & Sons.
3. Parker, G. (2020, September 29). Assessing peat fires for health and safety. Retrieved from <https://apfinag.com/assessing-peat-fires-for-health-and-safety>
4. Hooijer, A. (2016). In the line of fire: the peatlands of Southeast Asia. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 371 (1696). Retrieved from <https://royalsocietypublishing.org/rstb/article/371/1696/20150176/22893/In-the-line-of-fire-the-peatlands-of-Southeast> <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0176>
5. Minasny, B., Adetsu, D.V., Vigah, D. et al. (2024). Mapping and monitoring peatland conditions from global to field scale. *Biogeochemistry*, 167, 383-425, <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01084-1>
6. Lyalko, V.I., Dugin, S.S., Sybirtseva, O.M. et al. (2023). On the Possibility of Identifying Peatland Features Using Remote Sensing Data. *Geological Journal*, 4, 61-78. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>. [Лялько, В.І., Дугін, С.С., Сибірцева, О.М., Дорофей, Є.М., Голубов, С.І., Орленко, Т.А. (2023). Про можливість визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі. *Геологічний журнал*, 4, 61-78].

7. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat (2022). Website of UNESCO. Retrieved from <https://www.unesco.org/en/biodiversity/wetlands>
8. Global Peatlands Initiative (2025). Website of GPI. Retrieved from <https://globalpeatlands.org>.
9. EU Biodiversity Strategy for 2030. (2020). Website of EC. Retrieved from <https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030>
10. European Commission Green deal: pioneering proposals to restore Europe's nature by 2050 and halve pesticide use by 2030. (2022). Website of EC. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3746
11. Osadchyi, V., Oreshchenko, A. & Savenets, M. (2023). *Suputnykovyi monitorynh pozhhez i zabrudnennia atmosferного povitria* [Satellite monitoring of fires and atmospheric pollution]. Kyiv: SESU, NASU. (in Ukrainian) [Осадчий, В., Орещенко, А., Савенець, М. (2023). Супутниковий моніторинг пожеж і забруднення атмосферного повітря. Київ: ДСНС України, НАН України, УкрГМІ].
12. Lishchenko, L.P. & Pazynych, N.V. (2016). Monitorynh stanu torfovvyshch dla vyivlennia pozhzhonebezpechnykh dilianok za dopomohoiu dystantsiinykh metodiv [Monitoring the condition of peatlands to identify fire-hazardous areas using remote methods]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*, 8, 29-39. (in Ukrainian) <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.210>. [Ліщенко, Л.П., Пазинич, Н.В. (2016). Моніторинг стану торфовищ для виявлення пожежонебезпечних ділянок за допомогою дистанційних методів. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 8, 29-39].
13. Rein, G. & Huang, X. (2021). Smouldering wildfires in peatlands, forests and the arctic: Challenges and perspectives. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 24. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584421000684>
14. Rein, G. (2014, June 16). The long slow burn of Smouldering peat mega-fires. Retrieved from <https://www.iawfonline.org/article/the-long-slow-burn-of-smouldering-peat-mega-fires>
15. McCarter, C.P., Clay, G.D., Wilkinson, S.L. et al. (2024). Peat fires and legacy toxic metal release: An integrative biogeochemical and ecohydrological conceptual framework. *Earth-Science Reviews*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104867>
16. Page, S.E. & Hooijer, A. (2017). In the line of fire: The peatlands of Southeast Asia. *Philos. Trans. R. Soc.*, 317 (1696). <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0176>
17. Sam-Odusina, T., Perkasa, P., Chalmers, C. et al. (2025). Detection and Geolocation of Peat Fires Using Thermal Infrared Cameras on Drones. *Drones*, 9(7), 459. <https://doi.org/10.3390/drones9070459>
18. Carmenta, R., Zabala, A. & Phelps, J. (2015). Indonesian Peatland Fires. Perceptions of Solutions. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4296.5849>
19. Lohberger, S., Stängel, M., Atwood, E.C. & Siegert, F. (2017). Spatial evaluation of Indonesia's 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1. *Glob. Change Biol*, 24, 644-654. <https://doi.org/10.1111/gcb.13841>
20. Crippa, P., Castruccio, S., Archer-Nicholls, S. et al. Population exposure to hazardous air quality due to the 2015 fires in Equatorial Asia, *Scientific Reports* | 6:37074 |. <https://doi.org/10.1038/srep37074>
21. The burning issue of peat fires. (2025, April 02). Retrieved from <https://geographical.co.uk/news/the-burning-issue-of-peat-fires>
22. UK peatland fires are supercharging carbon emissions as climate change causes hotter, drier summers (2025, February 21). Retrieved from <https://www.cam.ac.uk/research/news/uk-peatland-fires-are-supercharging-carbon-emissions-as-climate-change-causes-hotter-drier-summers>
23. Peatland fires and carbon emissions. (2025, March 05). Retrieved from <https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/wildland-fires/peatland-fires-carbon-missions>

24. Wildfires send Canada's carbon emissions soaring. (2025, July 20). Retrieved from <https://www.cbc.ca/news/science/new-model-to-estimate-emissions-from-canada-peatlands-1.758880312>
25. Peatlands Play a Vital Ecological and Economic Role in the U.S. (2025, May 30) Retrieved from <https://www.pew.org/en/research-and-analysis/issue-briefs/2025/05/peatlands-play-a-vital-ecological-and-economic-role-in-the-us>
26. Koval, R. (2025). *Doslidzhennia statystychnykh danykh shchodo pozhezh torfianykh zahorian, prychyn yikh vynyknennia na terytorii Ukrainy* [Research on statistical data concerning peat fires and the causes of their occurrence in Ukraine]. Kyiv: ISRCPU NUCPU. (in Ukrainian) [Коваль, Р. (2025). Дослідження статистичних даних щодо пожеж торф'яних загорянь, причин їх виникнення на території України. Київ: ІНДЦЗ НУЦЗУ].

Стаття надійшла до редакції 02.02.2026, надійшла після рецензування 03.04.2026, прийнята 21.04.2026

The article was received 02.02.2026, received after revision 03.04.2026, accepted 21.04.2026

Попов Михайло Олексійович

член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, директор, Державна установа “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”

Адреса робоча: вул. Олеся Гончара, 55-б, Київ, 01054, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227> **e-mail:** mpopov@casre.kiev.ua

Пономаренко Роман Володимирович

доктор технічних наук, професор, начальник, Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України

Адреса робоча: вул. Вишгородська, 21, Київ, 04074, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8445-8251> **e-mail:** indcz@nuczu.edu.ua

Мосов Сергій Петрович

доктор військових наук, професор, старший викладач, відділення підготовки операторів безпілотних систем і робототехніки Інституту наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України

Адреса робоча: вул. Вишгородська, 21, Київ, 04074, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0833-3187> **e-mail:** indcz@nuczu.edu.ua